

**Workflow-Analytischer Vergleich der
Konventionell Laparoskopischen versus Roboter-Assistierten
Nissen Fundoplikatio
am experimentellen Tiermodell**

Kumulative Dissertation
zur Erlangung des akademischen Grades
Dr. med.
an der medizinischen Fakultät
der Universität Leipzig

Eingereicht von:	Alexandra Krauß
Geboren am:	09.07.1982 in München
Adresse:	Poetengässchen 2 93047 Regensburg
Angefertigt an:	Klinik und Poliklinik für Kinderchirurgie, Universität Leipzig
Betreuer:	PD Dr. med. habil. OJ. Münsterer Prof. Dr. sc. hum. W. Korb

Beschluss über die Verleihung des Doktorgrades vom: 18. Juni 2013

Vorbemerkung

Für die Darstellung der Ergebnisse wurde die kumulative Form der Promotion gewählt.

Die ausgewählten Publikationen enthalten die analysierten Daten sowie die ausführliche Diskussion der jeweiligen Ergebnisse. In der vorliegenden Arbeit werden die Ergebnisse der drei Arbeiten kurz dargestellt.

Bibliographischer Nachweis der in der Arbeit zusammengefassten Publikationen:

1. Wachowiak R, Krauss A, Donaubauer B, Muensterer OJ. Cardia Yield Pressure Measurement in an Infant Porcine Model. A Novel Technique to Evaluate the Quality of Laparoscopic Fundoplication. J Laparoendosc Adv Surg tech A. 2008 Dec; 18(6):887-90
2. Krauss A, Muensterer OJ, Neumuth Th, Wachowiak R, Donaubauer B, Korb W, Burgert O. Workflow Analysis of Laparoscopic Nissen Fundoplication in Infant Pigs - A Model for Surgical Feedback and Training. J Laparoendosc Adv Surg tech A. 2009 Apr; 19 Suppl 1:S117-22
3. Krauss A, Neumuth Th, Wachowiak R, Donaubauer B, Korb W, Burgert O, Muensterer OJ. Laparoscopic versus robot - assisted Nissen Fundoplication in an infant pig model. Pediatr Surg Int. 2011 Dec 27. [Epub ahead of print] PMID: 22200733

Bibliographische Beschreibung

Name: Alexandra Krauß

Titel: Workflow-Analytischer Vergleich der Konventionell Laparoskopischen
versus Roboter - Assistierte Nissen Fundoplikatio am experimentellen
Tiermodell

Universität Leipzig, kumulative Dissertation

S.: 66; Lit.: 70; Abb.: 6; Anlagen: 1

Referat

Das Ziel dieser experimentellen Studie war es die Techniken der konventionell laparoskopischen Fundoplikatio nach Nissen (CLNF) und der roboter-assistierte Fundoplikatio nach Nissen (RANF), wovon erstere derzeit als Standard der operativen Therapie der gastroösophagealen Refluxkrankheit (GERD) im Kindesalter gilt, anhand workflow-analytischer Vergleichskriterien objektiv zu evaluieren.

An jeweils zwölf weiblichen infantilen Schweinen (Rasse: *Sus scrofa domestica*, Gewicht: 7-10,8 kg, Alter: 6-8 Wochen) wurde respektive eine CLNF oder RANF durchgeführt, die postoperativ mittels Workflow-Analyse sowohl quantitativ als auch qualitativ in Hinsicht auf Geschwindigkeit, Sicherheit, Genauigkeit und Effizienz verglichen wurde. Dafür benutzten wir ein zuvor von uns entwickeltes Modul einer computer-assistierte Workflow-Erhebung, das speziell auf die Operationstechnik der Fundoplikatio nach Nissen ausgerichtet wurde. Nach Segmentierung des chirurgischen Workflows in spezielle Phasen konnten die zur Komplettierung vorab definierter Aktionen benötigten Zeiten mit Hilfe des Student's *t*-Tests verglichen werden. Die Qualität des Knoten-Knüpfens wurde anhand eines speziellen Punktesystems beurteilt, die Effizienz der Fundoplikatio mittels Messung des Kardialöffnungsdruckes (Cardia yield pressure - CYP).

Entgegen einer Zeitersparnis beim Knüpfen der Knoten in der RANF-Gruppe erwies sich die Qualität des Knüpfens in der CLNF-Gruppe als hochwertiger. In der durchschnittlichen Dauer der einzelnen Operationsphasen und dem Anstieg des CYP zeigte sich kein signifikanter Unterschied, wohingegen induzierte Pneumothoraces bei der CLNF verglichen mit der RANF öfter auftraten, allerdings Nähte in der RANF-Gruppe häufiger rissen.

Trotz beschleunigtem Knoten-Knüpfens und reduzierter Inzidenz von Pneumothoraces, konnte die Technik der RANF in unserem experimentellen Tiermodell hinsichtlich der Effizienz der jeweiligen Operationstechnik nicht durch signifikante Vorteile überzeugen.

Inhaltsverzeichnis

Vorbemerkung.....	I
Bibliographische Beschreibung.....	II
Inhaltsverzeichnis.....	III
Abkürzungsverzeichnis	IV
Abbildungsverzeichnis	V
I. Einleitung	6
1. Einführung in die Gastroösophageale Refluxkrankheit im Kindesalter	6
2. Operative Therapie der GERD im Kindesalter	10
3. Konkrete Zielsetzung der Studie	14
II. Publikationen.....	15
1. Workflow-Analytisches Trainings – und Feedbackmodel der CLNF – 1. Publikation.....	15
2. Effizienztestung der CLNF mittels Bestimmung des CYP – 2. Publikation	24
3. Workflow-Analytischer Vergleich der CLNF vs. RANF – 3. Publikation	31
III. Zusammenfassung.....	39
IV. Anhang: Die Gastroösophageale Refluxkrankheit im Kindesalter - Ein Überblick.....	46
V. Literaturverzeichnis.....	53
VI. Eigenständigkeitserklärung.....	60
VII. Darstellung des wissenschaftlichen Werdeganges mit CV.....	61
VIII. Danksagung.....	66

Abkürzungsverzeichnis

ARC	Antirefluxchirurgie
bzw.	beziehungsweise
ca.	circa
LNF	Laparoskopische Fundoplikatio nach Nissen
CLNF	Konventionell Laparoskopische Fundoplikatio nach Nissen
cmH ₂ O	Zentimeter Wassersäule
CO ₂	Kohlenstoffdioxid
CYP	Cardia Yield Pressure (Kardia-Öffnungsdruck)
et al.	et alii
ESPGHAN	Europäische Gesellschaft für pädiatrische Gastroenterologie, Hepatologie und Ernährung
FDA	Federal Drug Administration
GER	Gastroösophagealer Reflux
GERD	Gastroösophageale Refluxkrankheit
H ₂ RA	Histamin-2-Rezeptor-Antagonist
LES	Unterer Ösophagussphinkter
mmHg	Millimeter Quecksilbersäule
NASPGHAN	Nordamerikanische Gesellschaft für pädiatrische Gastroenterologie, Hepatologie und Ernährung
ONF	Offene Fundoplikatio nach Nissen
PPI	Protonenpumpenhemmer
RANF	Roboter - Assistierte Fundoplikatio nach Nissen *
RCT	Randomisierte kontrollierte Studie
SIDS	Sudden infant death syndrom (Plötzlicher Kindstod)
TLESR	Transiente Relaxation des unteren Ösophagussphinkters
u.a.	und andere
v.a.	vor allem
vs.	Versus

*Anmerkung: In dieser Arbeit wird der Begriff „Roboter“ synonym zu dem Begriff „Telemanipulator“ verwendet, da auch im klinischen Sprachgebrauch weitläufig keine Differenzierung üblich ist. Kritisch betrachtet handelt es sich bei einem Roboter um ein System mit wenigstens einer gewissen Teilautonomie, welches bei dem von der Firma Intuitive vermarkteten Da Vinci ® „Roboter“ genaugenommen nicht zutrifft.

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1:	Intraoperative Bilder einer laparoskopischen Fundoplikatio nach Nissen	11
Abb. 2:	Da Vinci Telemanipulatorsystem®, Intuitive Surgical, Mountain View, CA (USA)	13
Abb. 3a:	Screenshot des Workflow Editors, ICCAS - Innovation Center Computer Assisted Surgery, Leipzig, (Deutschland)	15
Abb. 3b:	Screenshot der aufgenommenen Aktivitäten, ICCAS - Innovation Center Computer Assisted Surgery, Leipzig, (Deutschland)	15
Abb. 4:	Methode der Kardiapöffnungsdruck-Messung	24
Abb. 5:	Skizze des Hiatus oesophageus und des His'schen Winkels	46
Abb. 6:	Foto der Arbeitsgruppe	65

I. Einleitung

1. Einführung in die Gastroösophageale Refluxkrankheit im Kindesalter

Weltweit stellt die gastroösophageale Refluxkrankheit (gastroesophageal reflux disease - GERD) die häufigste von Hausärzten registrierte Beschwerdesymptomatik dar [Shaheen 2006]. Studien zufolge leiden 10% der Bevölkerung der Vereinigten Staaten sowie Nord-europas täglich, 20% wöchentlich und beachtenswerte 50% monatlich an einer Reflux-symptomatik [Gatenby 2009].

Besonders im Säuglings- und Kleinkindesalter wird das Phänomen des gastroösophagealen Refluxes (gastroesophageal reflux – GER) gehäuft beobachtet. So kommt es bei bis zu 67% aller vier bis fünf Monate alten Säuglinge nach der Nahrungsaufnahme aufgrund des physiologischerweise noch schwachen unteren Ösophagussphinkters (lower esophageal sphincter - LES) zum GER. Dieser muss von den refluxbedingten Komplikationen, dem weit-aus selteneren pathologischen gastroösophagealen Reflux (GERD), unterschieden werden [Nelson 1997].

Der physiologische GER wird als unwillkürlicher Rückfluss von Mageninhalt in den Ösophagus ohne Assoziation mit Komplikationen oder körperlichen Anomalien definiert. Dieser Vorgang wiederholt sich sowohl bei Kindern als auch bei Erwachsenen mehrmals täglich, insbesondere mit nächtlichen und postprandialen Spitzenwerten, und äußert sich am häufigsten in Erbrechen, Aufstoßen oder Reizbarkeit. In den meisten Fällen aber verlaufen die Refluxepisoden unbemerkt, da nur selten Mageninhalt die Mundhöhle erreicht [Jones 2001]. Der bislang vorherrschenden Meinung zufolge stellt sich im Zuge der anatomischen und funktionellen Entwicklung der Kinder, meist nach Vollendung des ersten Lebensjahres, der physiologische Reflux spontan ein und wird von der Mehrzahl aller Säuglinge ohne bleibende Schäden toleriert. Laut Nelson et al. weisen demnach nur noch 21% der sechs bis sieben Monate und unter 5% der zwölf Monate alten Kinder Symptome des GER auf [Nelson 1997].

Führt der Reflux allerdings zu typischen Symptomen, wie rezidivierendem Erbrechen, Gedeihstörung, epigastrischen Bauchschmerzen, retrosternalen Schmerzen, respiratorischen oder extraösophagealen Beschwerden, und Komplikationen, wie der erosiven Ösophagitis, peptischen Strikturen, einem Barrett-Ösophagus oder einem Adenokarzinom, oder persistiert über das Alter von achtzehn Monaten hinaus, muss er als pathologisch angesehen werden und manifestiert sich in quantitativ und qualitativ gesteigerten sauren Refluxepisoden sowie einer gestörten gastroösophagealen Säure-Clearance [Suwandhi 2006].

Die Ätiologie der GERD im Kindesalter ist multifaktoriell und komplex. Dies spiegelt sich in genetischen, umweltbedingten, anatomischen, hormonalen bis hin zu neurogenen Einflussfaktoren wider [Vandenplas 2002]. Trotz der mannigfaltigen Pathogenese wird die von Dodds et al. erstmals beschriebene transiente Relaxation des LES (transient relaxation of lower esophageal sphincter - TLESR) in Verbindung mit einer gestörten propulsiven Peristaltik der Speiseröhre in allen Altersklassen als ursächlicher Mechanismus in der Entwicklung der GERD angesehen [Henry 2004]. Bei Patienten mit GERD und physiologischerweise bei Kleinkindern ist die normale Kontraktion des LES gestört und dessen Druck sinkt unabhängig vom Schluckakt für mehr als zehn Sekunden auf Werte von 0 bis 2 mmHg ab [Cavataio 2005].

Gemäß der Leitlinien der nordamerikanischen Gesellschaft für pädiatrische Gastroenterologie, Hepatologie und Ernährung (NASPGHAN) erlauben es eine gründliche Erhebung der Krankengeschichte sowie eine sorgfältige körperliche Untersuchung (auskultatorisches Giemen, Pharyngitis, Karies) in den meisten Fällen eine zuverlässige Diagnose zu stellen [Rudolph 2001]. Bei klinischem Verdacht auf eine GERD sind weiterführende diagnostische Schritte indiziert:

1. Barium-Breischluck mit oberer Magen-Darmpassage zum Ausschluss anatomischer Anomalien
2. 24-Stunden-pH-Metrie des Ösophagus in Verbindung mit einem Symptومتagebuch, um Refluxepisoden mit Hilfe des Refluxindex sowohl qualitativ als auch quantitativ zu objektivieren [Suwandhi 2006]
3. Gastroösophagoskopie und Gewebeentnahme zur Abklärung von Schleimhautschäden oder einer etwaigen Ösophagitis
4. Ösophagus-Manometrie zum Nachweis einer Motilitätsstörung

Neben dem empirischen, zeitlich limitierten Behandlungsversuch mit Protonenpumpenhemmern (PPI) kann die Szintigraphie das Vorhandensein eines Reflux verifizieren. Allerdings ist letztere, vergleichbar der intraluminalen ösophagealen elektrischen Impedanzmessung [Suwandhi 2006], eine im Kindesalter noch unzureichend validierte Methode zur Refluxerkennung. (Ausführliche Diagnostik der GERD im Kindesalter siehe Anhang, S.48)

Vorrangige Ziele einer antirefluxiven Therapie stellen die Linderung der Symptome, das Erreichen einer altersgerechten Entwicklung sowie die Prävention von Komplikationen, beispielsweise durch Ausheilung einer Ösophagitis, dar [Tighe 2009].

Bei noch unkompliziertem GER kann dies effizient durch sogenannte konservative „Lifestyle-Änderungen“ erzielt werden. Dazu zählen neben diätetischen Maßnahmen auch die Modifikation der Nahrung sowie die Optimierung der kindlichen Lagerung und Ausschaltung umweltbedingter Risikofaktoren [Brown 2000]. Im Säuglingsalter kann das Eindicken der gefütterten Nahrung in Verbindung mit Lagerung des Kindes auf dem Bauch oder links lateral nach der Nahrungsaufnahme milde Refluxsymptome abschwächen. Allerdings ist zu erwähnen, dass die eingedickte Nahrung allein zwar Erbrechen, aber nicht den Rückfluss von Mageninhalt zu reduzieren vermag [Suwandhi 2006]. Des Weiteren ist die Assoziation der Bauchlage von Säuglingen mit dem gehäuften Auftreten eines plötzlichen Kindstodes (SIDS) problematisch [Oyen 1997]. Studien zufolge sind Refluxepisoden bei Verwendung eines Kindersitzes häufiger aufgetreten [Orenstein 1999]. Bei übergewichtigen Kindern kann die Menge der Nahrung reduziert und auf kleinere, aber häufigere Mahlzeiten umgestellt werden, wohingegen bei mangelernährten Kindern die Kalorienzufuhr gesteigert werden sollte [Rudolph 2001]. Zudem ist es ratsam, eine Kuhmilchallergie auszuschließen und gegebenenfalls die Ernährung in Form von Hydrolysat-Nahrung anzupassen, da Studien, in denen der Verzicht auf Kuhmilch und die erneute Provokation damit untersucht wurde, zeigten, dass Säuglinge mit GERD nicht selten unter einer Kuhmilchallergie leiden [Forget 1985]. Älteren Kindern und Jugendlichen wird empfohlen, auf den Verzehr von koffeinhaltigen Getränken und fettigen Speisen zu verzichten und Substanzen, die zu einer Tonusreduktion des LES führen, zu meiden. Dazu zählen u.a. Theophyllin, Nikotin, Alkohol sowie Anticholinergika [Brown 2000].

Führt der nicht-pharmakologische Therapieversuch der GERD zu keiner Verbesserung der Symptomatik, erreicht das antirefluxive Therapieregime die zweite Stufe, die den Einsatz von Arzneimitteln beinhaltet. Tighe et al. versuchen in ihrem evidenz-basierten systematischen Review den pharmakologischen Therapieansatz in drei Kategorien einzuteilen:

1. Erhöhung der Viskosität der Nahrung mit Alginaten
2. Steigerung der gastrointestinalen Motilität mittels Prokinetika
3. Erhöhung des Magen-pH-Wertes durch Antazida, Histamin-H₂-Rezeptor-Antagonisten (H₂RA) und Protonenpumpeninhibitoren (PPI) [Tighe 2009]

Alginat dicken die Nahrung ein und vermögen deren Rückfluss durch Steigerung der Viskosität zu unterbinden. Die diesbezüglich größte randomisiert kontrollierte Studie (RCT) mit 90 eingeschlossenen Kindern zeigte, dass unter Alginaten im Vergleich zur Placebo-gruppe das Erbrechen signifikant abnahm ($p=0.009$) [Miller 1999].

Die gesteigerte Peristaltik des Ösophagus sowie die beschleunigte Magenentleerung, in Folge deren Erbrechen und Regurgitation zumeist nachlassen, bilden die Grundprinzipien der Prokinetika. Dennoch wird der Einsatz dieser Medikamentengruppe in der Routine-therapie der GERD kontrovers diskutiert, da die mannigfaltigen Nebenwirkungen, wie extra-pyramidale Störungen unter Domperidon, Benommenheit und Unruhe unter Metoclopramid oder Arrhythmien unter Cisaprid, deren Effizienz überwiegen [Suwandhi 2006]. So spricht die Europäische Gesellschaft für pädiatrische Gastroenterologie, Hepatologie und Ernährung (ESPGHAN) keine Empfehlung für den Einsatz von Domperidon und Metoclopramid im Kindesalter aus. Cisaprid wurde bereits im Jahr 2000 aufgrund des erhöhten Arrhythmie-risikos vom Markt genommen [Tighe 2009].

Die wichtigste Säule der medikamentösen Therapie besteht derzeit in der Modifikation der Magensäure, entweder durch Neutralisation (Antazida) oder durch Hemmung deren Sekretion (H_2 -Rezeptor-Antagonisten (H_2RA) und Protonenpumpeninhibitoren (PPI)).

Die behördliche Lebensmittelüberwachung und Arzneimittelzulassungsbehörde der Vereinigten Staaten (Federal Drug Administration - FDA) erteilte für die PPIs Lansoprazol und Omeprazol, die aufgrund ihrer hohen Wirksamkeit und dem geringen Nebenwirkungsspektrum bereits als Goldstandard der medikamentösen Therapie im Erwachsenenalter gelten, die Zulassung für pädiatrische Patienten mit schwerer GERD [Tighe 2009]. Auch H_2RA s wie Ranitidin, Famotidin und Cimetidin, die reversibel und kompetitiv die histamin-induzierte Säuresekretion des Magens hemmen, führen zu einer Linderung der Reflux-symptome und zur Ausheilung von ösophagealen Schleimhautschäden. H_2RA s weisen jedoch ein breiteres Nebenwirkungsspektrum auf [Henry 2004] und vermögen die durch Nahrungsaufnahme induzierte Säuresekretion nicht zu verhindern [Suwandhi 2006]. Die PPIs wurden entsprechend der Empfehlungen der NASPGHAN zur wirksamsten Magen-säurehemmenden Medikation im Kindesalter ernannt [NASPGHAN 2001].

2. Operative Therapie der GERD im Kindesalter

Trotz hervorragenden Ergebnissen in der Behandlung von Ösophagitiden mittels PPIs konnte bei ca. 80% der Patienten, deren Therapie unterbrochen oder die Dosis reduziert wurde, innerhalb von sechs Monaten ein Rezidiv der Symptome beobachtet werden. Folglich beeinflusst die medikamentöse Therapie die GERD zwar symptomatisch, nicht aber kausal und muss meist lebenslanglich beibehalten werden [Zhi 2005].

Dagegen wird mittels operativer Verfahren versucht dem pathologischen Reflux kausal durch Wiederherstellung der Kompetenz am gastroösophagealen Übergang entgegenzuwirken.

Die Durchführung einer Antirefluxchirurgie (ARC) sollte dann in Erwägung gezogen werden, wenn die GERD trotz maximaler konservativer und medikamentöser Therapie persistiert und bereits schwerwiegende Komplikationen mit sich führt. Gemäß verschiedenen Studien benötigt durchschnittlich eines von 350 Kindern mit GERD eine operative Therapie [Saedon 2007], um eine chronische Entzündungsreaktion der Ösophagusschleimhaut sowie die Entwicklung narbiger Stenosen, Metaplasien oder eines Barrett-Ösophagus zu verhindern. Diese Veränderungen sind als Präkanzerosen zu werten und können im Verlauf ein Ösophaguskarzinom bedingen [Lundell 2010].

Den höchsten Nutzen scheint eine operative Therapie bei neurologisch gesunden Kindern mit endoskopisch gesicherter GERD und vorausgegangenem Ansprechen auf die Gabe von PPIs zu haben [Lobe 2007]. Eine Indikation für die ARC stellt auch der gallige Reflux dar, der eine entscheidende Rolle in der Entwicklung der chronischen Ösophagitis spielt und weder mit H₂RAs noch mit PPIs zufriedenstellend behandelbar ist [Orel 2003].

Die weltweit am weitesten verbreitete Methode der operativen Refluxtherapie besteht in der Anlage einer Fundoplikatio, die von Rudolph Nissen 1936 eher zufällig beim Übernähen eines exzidierten distalen Ösophagusulkus erstmals durchgeführt, 1956 publiziert und in den darauf folgenden Jahren mehrfach angewandt wurde [Nissen 1956] [Liebermann-Meffert 1998]. Daraufhin entwickelten sich verschiedene Varianten der Fundoplikatio, die sich zumeist in der Wahl des Zugangsweges, der Ausdehnung der Fundus-Manschette und der Form der Magenfixation unterscheiden (Entwicklung der Fundoplikatio, siehe Anhang, S.50). Die klassische Vorgehensweise der ARC, bekannt als totale Fundoplikatio nach Nissen, beinhaltet die Magenreposition, die Hiatusrekonstruktion und die Bildung einer 360° Fundusmanschette um den bougierten abdominalen Ösophagus [Saedon 2007] (Abb. 1).

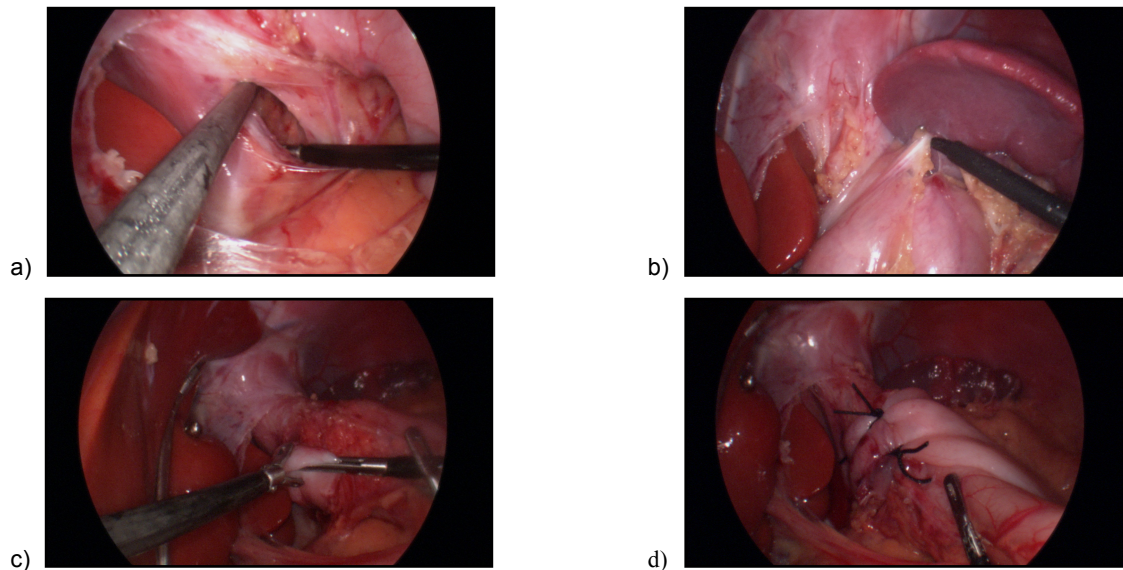


Abb. 1: Intraoperative Bilder einer laparoskopischen Fundoplikatio nach Nissen:

- a) Präparation des Hiatus oesophageus mit anschließender Hiatusplastik durch hinteres Zusammennähen der V-förmigen Zwerchfellschenkel
- b) Lösen des Fundus entlang der großen Kurvatur
- c) Durchziehen des Fundus hinter dem Ösophagus und Fixation mittels Fäden
- d) Fixation der fertigen Fundusmanschette mit insgesamt drei Nähten

Obwohl die ARC gegen Ende des 20. Jahrhunderts, aufgrund der hohen Komplikationsraten und der Entwicklung der PPIs, einen deutlichen Rückgang verzeichnete [Klinkenberg-Knol 1994], gelang ihr durch die Einführung der minimal-invasiven Chirurgie ein rasches Comeback. So wurde 1991 in Belgien von Dallemagne et al. die erste laparoskopische Fundoplikatio nach Nissen (LNF) an einem Erwachsenen [Dallemagne 1991], zwei Jahre später von Lobe an einem Kind durchgeführt [Lobe 1993]. In den folgenden Jahren entwickelte sich die LNF, trotz mangelnder prospektiver Studien über den Vergleich der LNF vs. der offenen Fundoplikatio nach Nissen (ONF) sowie über die Unterschiede zwischen den multiplen Varianten der Fundoplikationen in der Pädiatrie, als Goldstandard der operativen Therapie der kindlichen GERD [Lobe 2007].

Dabei differieren die ONF und die LNF lediglich in der Art des Zugangsweges und der Auswahl der Instrumente, nicht aber im chirurgischen Prinzip.

Dieses besteht für alle antirefluxiven Techniken gewissermaßen aus drei Eckpfeilern:

1. Verlängerung des intraabdominalen Ösophagus-Anteils
2. Erhöhung des Ruhedruckes des LES
3. Wiederherstellung eines spitzen His-Winkels

In einem Review über die Entwicklung und den aktuellen Stellenwert der LNF als Therapieoption der kindlichen GERD können die meisten retrospektiven Studien deren Überlegenheit und Effektivität gegenüber der ONF etablieren, da die Hospitalisation kürzer, der Nahrungsaufbau und die körperliche Genesung rascher sowie akute Komplikationen und postoperative Rezidive seltener sind [Kane 2009 a].

Neben der gründlichen präoperativen Evaluation der Patienten und der strengen Indikationsstellung sind besonders die Erfahrung und die minimal-invasive chirurgische Kompetenz des Operateurs für den Erfolg der laparoskopischen ARC ausschlaggebend.

Im Vergleich zu anderen laparoskopischen Operationen erfordert die Fundoplikatio als rekonstruktiver Eingriff eine höhere manuelle Geschicklichkeit und Kompetenz, um angrenzende Strukturen wie die Aorta, die Leber, die Milz und die Äste des Nervus vagus nicht zu verletzen. Insbesondere die Durchführung eines intrakorporalen Knotens muss sicher beherrscht werden.

Die Lernkurve für die konventionelle laparoskopische Fundoplikatio nach Nissen (CLNF), im Gegensatz zur roboter-assistierten Fundoplikatio nach Nissen (RANF), ist steil und deren Plateau wird erfahrungsgemäß bei einer Anzahl von 20-50 durchgeführten Operationen erreicht. Damit einhergehend nehmen auch die Konversionsraten in eine ONF, die Inzidenz von Komplikationen und die benötigten Operationszeiten sukzessiv ab [Kane 2009 b].

Dennoch bestehen charakteristische Schwachstellen der konventionellen Laparoskopie, wie die fehlende dreidimensionale Visualisierung, die eingeschränkte Beweglichkeit der Instrumente und zusätzlich der „fulcrum effect“, der die Auslenkung der Instrumente in die entgegengesetzte Richtung der ursprünglichen Handbewegung beschreibt.

Dieser Problematik versucht die, in den letzten zwei Jahrzehnten entwickelte, roboter-assistierte Chirurgie entgegenzuwirken [Stefanidis 2005]. Mit Hilfe des Da Vinci Telemanipulatorsystems® (Intuitive Surgical, Mountain View, CA, USA) kann der Chirurg in einer ergonomisch angenehmen Position von der Steuerkonsole aus die, an die Roboterarme konnektierten, Instrumente bedienen, wobei ein Tremorfilter, der artifizielle Bewegungen der Hände minimiert, sowie die dreidimensionale Visualisierung und die zusätzlichen Freiheitsgrade der Instrumente dazu beitragen, die chirurgische Präzision zu optimieren [Gutt 2002] (Abb.2).



Abb. 2: Da Vinci Telemanipulatorsystem®, Intuitive Surgery, Mountain View, CA (USA)

Im Jahre 2001 führten Meininger et al. die weltweit erste erfolgreiche RANF im Kindesalter an einem zehnjährigen Mädchen mit GERD durch [Meininger 2001]. Bis Oktober 2007 wurden, gemäß einem systematischen Review von Sinha et al., in 31 Studien roboter-assistierte Operationen an insgesamt 566 Kindern (durchschnittliches Alter: 8,3 Jahre) beschrieben. Die Fundoplikatio ist nach der Pyeloplastie eine der am häufigsten roboter-assistiert durchgeführten Operationen und kann derzeit als effektiv und sicher eingestuft werden. Vorteile werden insbesondere in der verbesserten Augen-Hand-Koordination gesehen, die das Knüpfen eines intrakorporalen Knotens und die präzise Präparation mit minimalen Konversions- und Komplikationsraten ermöglicht [Sinha 2008]. Meehan et al. schätzen die Lernkurve für roboter-assistierte Operationen kürzer und steiler ein als die der CLNF und berichten über das Erreichen eines Fertigungsplateaus nach bereits fünfzehn Operationen [Meehan 2008].

Zusätzlich zu den enormen Investitionskosten eines Operationsroboters galt anfangs das Fehlen kleiner Instrumenten-Größen als bedeutendster Nachteil der roboter-assistierten Chirurgie bei Kindern. Im Zuge der weiteren Entwicklung konnte allerdings im Jahr 2009 gezeigt werden, dass die roboter-assistierte Chirurgie selbst bei Säuglingen bis zu einem minimalen Gewicht von drei Kilogramm anwendbar und sicher ist [Meehan 2009].

3. Konkrete Zielsetzung der Studie

Unabhängig von der angewandten Methode der minimal-invasiven chirurgischen Therapie der GERD gewährleistet nur ein strikt standardisiertes Vorgehen eine aussagekräftige Evaluation des Operators und trägt entscheidend zur Vergleichbarkeit verschiedener Techniken bei.

Obwohl die CLNF zu den häufigsten durchgeführten kinderchirurgischen Eingriffen weltweit zählt, erscheint eine vergleichbare Evaluierung, durch ein Defizit an konsistenter Technik, beinahe unmöglich. Demgegenüber befindet sich die roboter-assistierte Chirurgie noch in den Anfängen. Bislang fehlt es an objektiven Daten, ob und inwiefern die roboter-assistierte Chirurgie gegenüber der konventionell laparoskopischen Chirurgie mit speziellem Focus auf die Fundoplikatio im Säuglingsalter überlegen ist.

Daher bedarf es innovativer Bewertungsoptionen, damit die verschiedenen minimal-invasiven antirefluxiven Operationstechniken einem objektiven Vergleich unterzogen werden können.

Die Ziele unserer Studie waren daher:

1. Einen einheitlichen Aufnahme- und Bewertungsmodus zu konzipieren, der laparoskopische Operationen einer objektiven Analyse und damit auch Verbesserungen zugänglich macht
2. Die CLNF und die RANF quantitativ und qualitativ in Hinsicht auf Geschwindigkeit, Sicherheit und Effizienz anhand eines geeigneten Tiermodells zu vergleichen

Dafür war ferner die Auswahl eines standardisierten Tiermodells sowie einer praktikablen Effizienztestung mittels prä- und postoperativer Messung des CYP entscheidend. Die Versuchstiere sind so gewählt, dass sie die Körper- und Gewichtsverhältnisse von Säuglingen simulieren.

II. Publikationen

1. Workflow-Analytisches Trainings – und Feedbackmodel der CLNF – 1. Publikation

Workflow-Analysen haben sich in vielen medizinischen und außermedizinischen Bereichen wie im Sport, in der Industrie und dem klinischen Qualitätsmanagement etabliert, um komplexe Arbeitsabläufe zu deren Optimierung sowohl quantitativ als auch qualitativ zu beurteilen. Auch fortschrittliche minimal-invasive Kinderchirurgie erfordert in hohem Grad eine effiziente strategische Planung mittels standardisierter Workflow-Erhebungen und konsekutiver Workflow-Analysen.

Dafür entwickelten wir ein speziell auf die Operationstechnik der LNF ausgerichtetes Modul einer computer-assistierte, praktikablen Workflow-Erhebung. Durch Gliederung der Operation in spezifische Phasen und Evaluation ausgewählter individueller Schritte und Ereignisse kann dem Chirurgen ein Feedback seiner Arbeit ermöglicht und der Ablauf der Operation verbessert werden.

Jede dieser Phasen beinhaltet spezielle chirurgische Interventionen, die in eine standardisierte Terminologie übersetzt und in drei Kategorien (Aktivität, Objekt und Instrument) aufgeteilt wurden. Anhand dieser vordefinierten Terminologie wurden alle Aktionen innerhalb der Phasen mit Hilfe eines eigens angefertigten Workflow-Editors (ICCAS – Innovation Center Computer Assisted Surgery, Leipzig, Deutschland) auf virtueller Zeitleiste manuell erfasst und dadurch die „chirurgische Realität“ der Operationen in Echtzeit beschrieben (Abb.3).

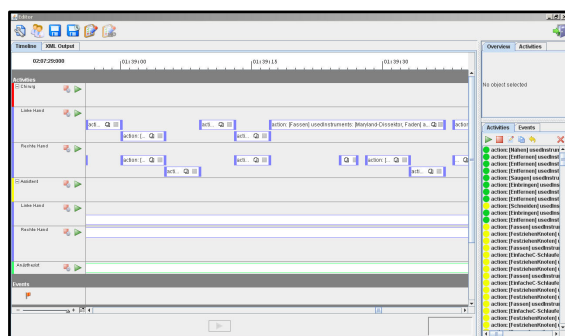


Abb. 3a: Screenshot des Workflow-Editors

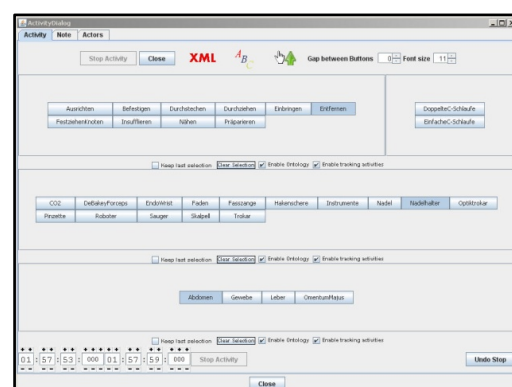


Abb. 3b: Screenshot der Aktivitäten

Jegliche Komplikation und unplanmäßige Intervention während der Operationen wurde dokumentiert und die dadurch veränderten Zeiten respektive interpretiert.

Title: Workflow Analysis of Laparoscopic Nissen Fundoplication in Infant Pigs – A Model for Surgical Feedback and Training.

Author(s): Krauss A, Muensterer OJ, Neumuth Th, Wachowiak R, Donaubauer B, Korb W, Burgert O.

Source: J Laparoendosc Adv Surg Tech A. Suppl. 1;19:117-122

Published: 2009

References: 18

Document Type: Journal / Magazine / Newspaper, Internet Resource

Language: English

Publisher: Journal of Laparoendoscopic & Advanced Surgical Techniques

Subject Category: Preclinical research

ISSN: 1092-6429

DOI: 0.1089/lap.2008.0198.supp

Impact Factor: 1,01

JOURNAL OF LAPAROENDOSCOPIC & ADVANCED SURGICAL TECHNIQUES
 Volume 19, Supplement 1, 2009
 © Mary Ann Liebert, Inc.
 DOI: 10.1089/lap.2008.0198.supp

Workflow Analysis of Laparoscopic Nissen Fundoplication in Infant Pigs—A Model for Surgical Feedback and Training

Alexandra Krauss,¹ Oliver J. Muensterer, MD, PhD,^{1,2} Thomas Neumuth, PhD,³ Robin Wachowiak, MD¹
 Bernd Donaubaue, MD,⁴ Werner Korb, PhD,³ and Oliver BURGERT, PhD³

Abstract

Background: Many fields use workflow analysis to assess and improve performance of complex tasks. In pediatric endosurgery, workflow analysis may help optimize operative planning and motor skills by breaking down the procedure into particular phases, evaluating these steps individually, and supplying feedback to the surgeon.

Objective: To develop a module of computer-based surgical workflow analysis for laparoscopic Nissen fundoplication (LNF) and to evaluate its applicability in an infant pig model.

Methods: LNF was performed in 12 pigs (weight, 7–10 kg) by a single surgeon. Based on synchronized intra- and extracorporeal movie recordings, the surgical workflow was segmented into temporal operative phases (preparation, dissection, reconstruction and conclusion). During each stage, all actions were recorded in a virtual timeline using a customized workflow editor. Specific tasks, such as knot-tying, were evaluated in detail. Time necessary to perform these actions was compared throughout the study.

Results: While time required for the preparation decreased by more than 70% from 4577 to 1379 seconds, and the dissection phase decreased from 2359 to 399 seconds (pig 1 and 12, respectively), the other two phases remained relatively stable. Mean time to perform the entire suture and a 5-throw knot remained constant as well.

Conclusion: Our workflow analysis model allows the quantitative evaluation of dynamic actions related to LNF. This data can be used to define average benchmark criteria for the procedures that comprise this operation. It thereby permits task-oriented refinement of surgical technique as well as monitoring the efficacy of training. Although preoperative preparation time decreased substantially, and dissection became faster, time required for the reconstruction and conclusion phases remained relatively constant for a surgeon with moderate experience. Likewise, knot-tying did not accelerate in this setting.

Introduction

MANY MEDICAL AND NONMEDICAL FIELDS such as athletics,¹ industrial production,² and clinical quality assurance³ use workflow analysis to assess and improve performance of complex tasks. Advanced pediatric endosurgery requires a high level of strategic planning in general, as well as fine motor skills in particular. Standardized workflows can be used for the methodical and scientific analysis of surgical interventions.⁴ Work-

flow analysis may help optimize surgical skill by breaking down the operation into particular phases, evaluating these steps individually and thereby supplying important feedback.

The objective of this study was to develop a tool to perform a systematic workflow analysis for laparoscopic Nissen fundoplication (LNF), evaluate its applicability in an experimental infant pig model, and thereby assess a single surgeon for any improvement of skills over time and number of cases operated.

¹Department of Pediatric Surgery, University of Leipzig, Leipzig, Germany.

²Department of Pediatric Surgery, Children's Hospital of Alabama, University of Alabama at Birmingham, Birmingham, Alabama.

³ICCAS—Innovation Center Computer Assisted Surgery, Leipzig, Germany.

⁴Department of Anesthesia and Intensive Care Medicine, University of Leipzig, Leipzig, Germany.

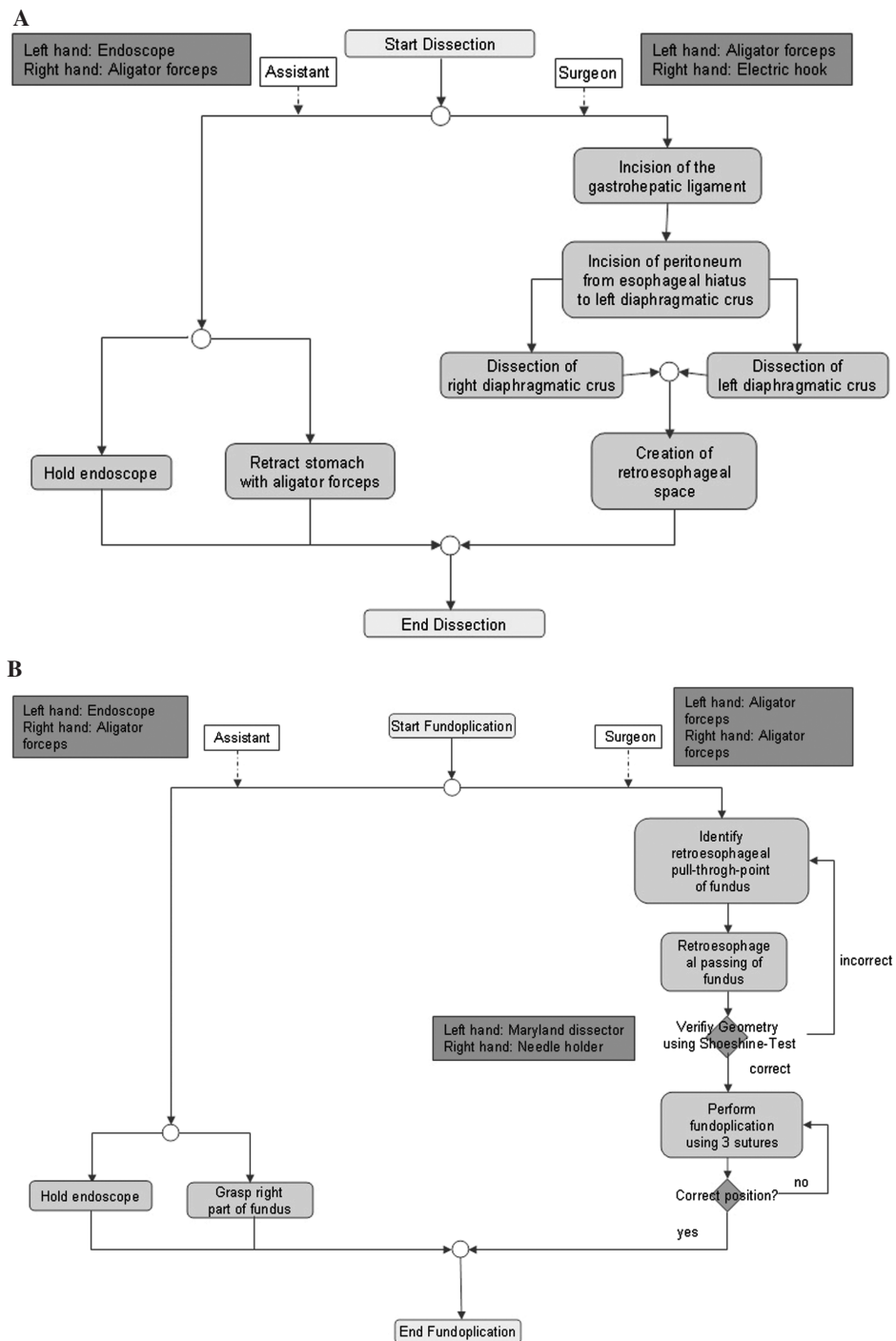


FIG. 1. Graphic description examples of the dissection (A) and fundoplication (B) phase of the operation.

Materials and Methods

Study design

The experiment was approved by the animal ethics committee of the University of Leipzig, registration number W24/07. LNF was performed on a total of 12 pigs (*Sus scrofa domestica*; age, 6 to 8 weeks; weight, 7.0 to 9.8 kg) by a single surgeon (OM), who had previously performed over seventy LNF in children, and the same surgical assistants (AK, RW). Two views of all operations were recorded simultaneously, the endoscopic camera and an outside room camera. Based on the synchronized intra- and extracorporeal movie recordings, surgical workflow was used to analyze surgical interventions and to compare the time necessary to perform these actions for each operation throughout the study.

Laparoscopic Nissen Fundoplication

The piglets were fasted, anesthetized, intubated, and mechanically ventilated. After positioning and fixation in a mild reverse Trendelenburg position, a 5 mm trocar was placed in the umbilicus. Another four trocars were placed in the right and left upper quadrant, the left flank and the right lower quadrant. Standard 5 mm endoscopic instruments and a 5 mm 30° endoscope (Karl Storz GmbH, Tuttlingen, Germany) were used for all interventions. All intracorporeal knots were performed with 12 cm long 2-0 silk sutures on a KR ski-

shaped round needle (Catgut GmbH, Markneukirchen, Germany).

The technique used for LNF has been described elsewhere in detail⁵, and was adapted for the porcine anatomy. Briefly, the gastrohepatic ligament was grasped and incised upward to the hiatus. The right and left diaphragmatic crura were dissected and the esophagus was mobilized anteriorly, creating a posterior retroesophageal window. The posterior hiatus was closed using a single silk suture, incorporating a small bite of the posterior esophagus. Two collar stitches were placed at the 2 and 10 o'clock position of the hiatus. Because of the large, mobile fundus in pigs, the gastrosplenic ligament or the short gastric vessels were not dissected. The fundus was rotated and passed behind the esophagus and good geometry was confirmed by a shoeshine maneuver. The actual fundoplication was then performed using three sutures incorporating gastroesophageal junction. All knots were tied in an intracorporeal technique using a total of five throws, the first being a double (surgical) throw. At the end of the procedure, the instruments and trocars were removed and the wounds were closed in two layers.

Workflow analysis

Surgical workflow was recorded in real-time using intra- and extracorporeal movie recordings as described above. All actions were documented in a virtual timeline using a custom-made workflow editor. The operation was systemati-

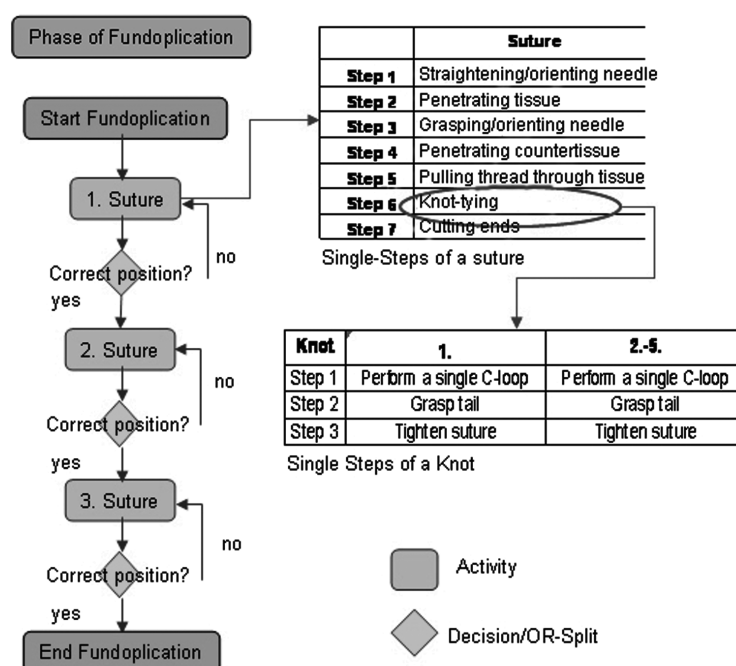


FIG. 2. Detailed schematic workflow of a suture.

S-120

KRAUSS ET AL.

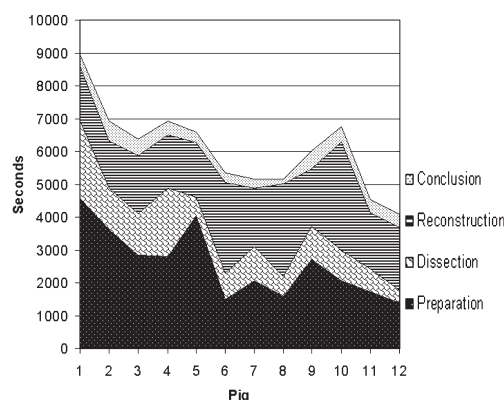


FIG. 3. Cumulative times of the four operative phases: preparation, dissection, reconstruction, and conclusion.

cally partitioned into four phases: (1) preparation (anesthesia, positioning, trocar placement), (2) dissection (developing the crura and the retroesophageal window), (3) reconstruction (hiatal suture, collar sutures, fundoplication suture), and (4) conclusion (removal of the instruments, wound closure). The workflow of each phase was then broken down into smaller segments (Fig. 1).

Each phase contained specific surgical interventions, which were translated into a standardized terminology and divided into three categories (action, objects, and instruments). This terminology was used to describe the surgical reality of the operation.⁴

A single movie of the operation was created using the synchronized intra- and extracorporeal video recordings on a virtual timeline. All actions and events were then entered in real-time on a tablet personal computer (Motion Computing Inc., Austin, TX) using a customized surgical workflow editor (ICCAS—Innovation Center Computer-Assisted Surgery, Leipzig, Germany) in XML-meta-language. Phrases were composed out of the predefined terminology, attributed to the used body part of the participant (i.e., <surgeon>, <assistant>) and thus logically combined (<surgeon>, <right hand>, <grasp>, <Maryland dissector>, <fundus>).

Specific tasks such as knot tying were evaluated independently (Fig. 2), and the time necessary to perform these actions was compared for each operation throughout the study.

Data analysis

Times for all individual steps of the operation, times needed to complete each phase of the operation, and total operation times were measured for each pig included in the study. Mean times and standard deviations were calculated for the individual steps of knot-tying in each animal. Furthermore, any complications and unplanned measures occurring during the surgery were recorded throughout the study.

Changes in the times required to complete operative phases and tasks sequentially over the course of the study were described. To detect any potential training effect, times required to complete the seven individual steps in all sutures

were compared in the first and last four pigs operated on using the Student's *t*-test (WinSTAT 2001.1, R. Fitch Software, Staufen, Germany).

Results

LNF was technically completed in all 12 subjects. Complications causing interruption of the standard workflow and requiring intervention were bleeding in 8 of 12 and pneumothorax in 4 of 12 pigs. Bleeding was addressed by aspiration, followed either by electrocauterization, or by placing a clamp on the bleeding vessel through the right lower quadrant trocar. Pneumothorax was treated by placing an ipsilateral chest tube. The time required to address these complications was included in the respective phase and lengthened the measured operating times accordingly.

The total operating time from the start of preparation (intubation, anesthesia, positioning) until completion of the closure decreased from 8958 seconds in the first pig to 4072 in the twelfth pig. Mean time of operation was 6071 ± 1321 seconds. The most marked decrease in time over the course of the experimental series was found for the preparation phase and the dissection phase, while most other phases remained relatively stable (Fig. 3). The time required for the preparation phase decreased by more than 70% (4577 seconds in pig 1 versus 1379 in pig 12), and for the dissection phase by more than 83% (2359 seconds in pig 1 versus 399 seconds in pig 12).

The time required for knot-tying was compared for all pigs in the course of the study. Average time for completion of a single knot across all operations was $121 \text{ seconds} \pm \text{SD } 43$ seconds and remained relatively constant during the run of the study (Fig. 4). There was no significant difference in average knot times between the first and the last four pigs.

Discussion

Formalizing standardized workflows allows surgeons to consciously reflect upon an operation in an analytical manner, rather than by intuition. As a result, feedback can be more easily obtained on technical skills, areas of decreased proficiency, and improvement through training. While

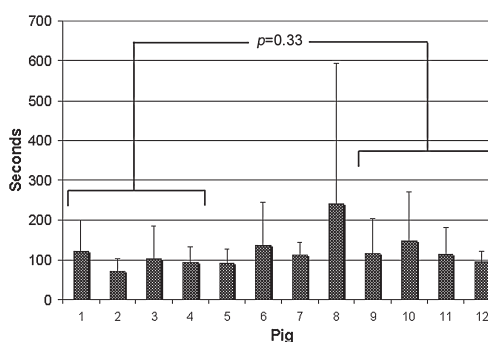


FIG. 4. Mean times for a five-throw knot (bleeding was encountered during hiatal suture in pig 8).

workflow analyses are commonly employed in industrial, medical, and athletic applications such as document or quality management, or energy expenditure for certain movements, only few reports have used them in surgical settings.^{6–8} The term itself has been used to describe different entities. However, surgical workflow analysis is an abstraction of surgical interventions which facilitates training, improve skills, and generate automatic reports.⁹ In previous studies, we used surgical workflow to create simulators for transnasal neurosurgery¹⁰ and endoscope holding devices during sinus surgery.^{11,12} It also may prove essential to design more efficient operating rooms in the future.⁴

In this study, we have formalized the workflow of laparoscopic Nissen fundoplication in an infant pig model in analogy in size to a child between 6 and 12 months of age. In previous reports, the adult pig has been described as the preferred animal model for LNF,^{13–15} which we have adapted for the pediatric surgical setting. Besides the advantages of low price and broad availability, pigs also exhibit physiologic spontaneous gastroesophageal reflux.¹⁶ Other anatomical differences between the infant pig model and the human child are the relatively large esophageal hiatus, which predisposes the model to pneumothoraces during abdominal CO₂ insufflation, as well as the close proximity of the hiatus to the vena cava, which may lead to bleeding during the dissection and reconstruction phase.

A specially designed meta-language allowed us to virtually describe and follow the actual workflow during this operation in a computer-based workflow editor. The data compiled by this program can be used to evaluate the time required to execute specific actions or a combination of actions. While other events such as complications and adverse events were documented as well, our workflow analysis model focused on the quantitative evaluation of duration of dynamic actions and processes during laparoscopic fundoplication.

Over the course of the experiment, the most striking improvement in time was noted for the preparation and dissection phases, while the reconstruction and conclusion phase remained relatively constant. This may be due to the initial lack of knowledge concerning porcine anatomy. Consequently, dissection is performed slower and more cautious, to avoid bleeding or other complications. Once the surgeon becomes familiar with the anatomy, dissection becomes quicker.

Training did not seem to improve total cumulative suture times in this experiment, as these remained relatively constant. Clearly, knot-tying was the most time-consuming step of the suture. Interestingly, suturing and knot-tying did not speed up through the course of the study, possibly because a surgeon who has performed over 70 funduplications in clinical practice has reached a plateau from which no further improvement is to be expected.

The complex task of intracorporeal knot-tying has been systematically evaluated by others as well. By defining the essential steps for the completion of an intracorporeal knot analogous to our experiment, Chang et al.¹⁷ developed an objective scoring system for endoscopic knot tying. Successful completion of each knot was rated according to a raw and error score. This qualitative evaluation of laparoscopic skill may someday complement our quantitative approach in a future integrated study.

Surgical workflow analysis, as presented here, is a powerful tool for surgeons to evaluate their performance of operations that have become the standard of care in clinical practice, such as laparoscopic Nissen fundoplication.¹⁸ Surgical workflows, however, do not equate or substitute surgical guidelines. They allow an analytical description and comparison of complex operations broken down into individual tasks, which are logically interlaced. This data may be used to define average benchmark criteria and thereby permits task-oriented refinement of surgical technique.

Disclosure Statement

No competing financial interests exist.

References

1. Marques MC, van den Tillaar R, Vescovi JD, González-Badillo JJ. Relationship between strength, power, force, and velocity qualities and performance in 3-step running throw ability. *Int J Sports Physiol Perform* 2007;2:414–422.
2. Oppenheim BW: Lean product development flow. *Syst Eng* 2004;7:352–374.
3. Fontanesi J, De Guire M, Chiang J, Holcomb K, Sawyer M. Applying workflow analysis tools to assess immunization delivery in outpatient primary care settings. *Jt Comm J Qual Improv* 2000;26:654–660.
4. Neumuth T, Durstewitz N, Fischer M, Stauß G, Dietz A, Meixensberger J, Jannin P, Cleary K, Lemke HU, Burgert O. Structured recording of intraoperative surgical workflows. *SPIE Medical Imaging 2006—PACS and Imaging Informatics: Progress in Biomedical Optics and Imaging*. SPIE 2006, CID 61450A.
5. Frykman PK, Georgeson KE: Laparoscopic Nissen Fundoplication. In: Bax KM, Georgeson KR, Rothenberg SS, Valla JS, Yeung CK (eds): *Endoscopic Surgery in Infants and Children*. Heidelberg: Springer Verlag 2008, pp. 253–259.
6. Assismakopoulos NA. Workflow management with systems approach: anticipated and ad-hoc workflow for scientific applications. *ISA Trans* 2000;39:153–167.
7. Chroust G, Benczur A. Workflow management: challenges, paradigms and products: CON, 94. Oldenburg: Wien, 1994, p. 293.
8. Cichocki A. Workflow and process automation: concepts and technology. Boston: Kluwer Academic Publishers, 1998, p. 121.
9. Padoy N, Blum T, Essa I, Berger MO, Navab N. A boosted segmentation method for surgical workflow analysis. *Med Image Comput Comput Assist Interv Int Conf Med Image* 2007;10:102–109.
10. Burgert O, Neumuth T, Audette M, Pössneck A, Mayoral R, Dietz A, Meixensberger J, Trantakis C. Requirement Specification for Surgical simulation Systems with Surgical Workflow. *Studies in Health Technology and Informatics* 2007; 125:58–63.
11. Fischer M, Strauss G, Burgert O, Dietz A, Trantakis C, Meixensberger J, Lemke H. ENT-surgical workflow as an instrument to assess the efficiency of technological developments in medicine. In: Lemke H, Inamura K, Doi K, Vannier M, Farman A. (eds.): *Proceedings of the 19th Computer Assisted Radiology and Surgery CARS 2005*, Elsevier International 2005, pp. 851–855.
12. Hofer M, Strauss G, Koulechov K, Strauß M, Stopp S, Pankau A, Korb W, Trantakis C, Meixensberger J, Dietz A., Lüth T. Establishing Navigated Control in Head Surgery, *MMVR* 2006 (in press).

S-122

KRAUSS ET AL.

13. Vicente Y, Rocha C, Yu J, Hernandez-Peredo G, Martinez L, Perez-Mies B, Tovar JA. Architecture and Function of the Gastroesophageal Barrier in the Piglet. *Dig Dis Sci* 2001; 46:1899–1908.
14. Schopf BW, Blair G, Dong S, Troger K. A porcine model of gastroesophageal reflux. *J Invest Surg* 1997;10:105–114.
15. Vicente Y, Rocha C, Yu J, Hernandez-Peredo G, Martinez L, Perez-Mies B, Tovar JA. Individual Inactivation of the Sphincteric Component of the Gastroesophageal Barrier Causes Reflux Esophagitis in Piglets. *J Pediatr Surg* 2002;37:40–46.
16. Kadirkamanathan SS, Yazaki E, Evans DF, Hepworth CC, Gong F, Swain CP. An ambulant porcine model of acid reflux used to evaluate endoscopic gastroplasty. *Gut* 1999; 44:782–788.
17. Chang L, Satava RM, Pellegrini CA, Sinanan MN. Identifying the learning curve through objective measurement of skill. *Surg Endosc* 2003;17:1744–1748.
18. Lobe TE. The current role of laparoscopic surgery for gastroesophageal reflux disease in infants and children. *Surg Endosc* 2007;21:167–174.

Address reprint requests to:
Oliver J. Muensterer, MD, PhD
Department of Pediatric Surgery
Children's Hospital of Alabama
University of Alabama at Birmingham
1600 7th Avenue South, ACC 300
Birmingham, AL 35233

E-mail: oliver.muensterer@ccc.uab.edu

Copyright of Journal of Laparoendoscopic & Advanced Surgical Techniques is the property of Mary Ann Liebert, Inc. and its content may not be copied or emailed to multiple sites or posted to a listserv without the copyright holder's express written permission. However, users may print, download, or email articles for individual use.

2. Effizienztestung der CLNF mittels Bestimmung des CYP – 2. Publikation

Ein spezielles Problem der minimal-invasiven ARC stellt die unzureichende intraoperative Beurteilung der Manschettenweite dar, wodurch die objektive intraoperative Erfolgskontrolle der durchgeführten Fundoplikatio verkompliziert wird.

Die ösophageale Manometrie als Effizienztestung der ARC ist kritisch zu betrachten, da der Druck des LES allein keine sichere Aussage über eine vorliegende Sphinkterinkompetenz zulässt [DeMeester 1979] und damit keinen präzisen Parameter zur Erfolgskontrolle der ARC darstellt. Dem hingegen wird die Messung des CYP - definiert als der intragastrale Druck, ab dem die Kardia sich öffnet - als praktikable und einfache Technik zur Effizienztestung der ARC beschrieben [Ismail 1995] [Ismail 1996], da dieser die kombinierten Effekte aller Antireflux-Mechanismen repräsentiert [Mc Gouran 1989].

Um die Qualität der minimal-invasiven Fundoplikatio nach Nissen am experimentellen Tiermodell zu quantifizieren und verschiedene Operationstechniken anhand eines objektiven Parameters zu vergleichen, haben wir eine neue und minimal-invasive Technik entwickelt, den CYP intraoperativ mittels einer laparoskopisch angelegten Gastrostomie ad hoc zu bestimmen.



Abb. 4: Messung der im Schlauch verbliebenen Flüssigkeitssäule in cm
und Gleichsetzung mit dem CYP in cmH₂O

Durch intragastrale Flüssigkeitsinsufflation bis zur Öffnung der Kardia wurde der CYP vor und nach Anlage der Fundoplikatio bestimmt und die Druckdifferenzen mittels Student's *t*-Test verglichen (Abb.4).

Die angewandte Methode der Messung des CYP wird im Folgenden ausführlich beschrieben.

Title: Cardia Yield Pressure Measurement in an Infant Porcine Model.
A Novel Technique to Evaluate the Quality of Laparoscopic
Fundoplication.

Author(s): Wachowiak R, Krauss A, Donaubauer B, Muensterer OJ

Source: J Laparoendosc Adv Surg Tech A. 18;6:887-890

Published: 2008

References: 14

Document Type: Journal / Magazine / Newspaper, Internet Resource

Language: English

Publisher: Journal of Laparoendoscopic & Advanced Surgical Techniques

Subject Category: Preclinical research

ISSN: 1092-6429

DOI: 10.1089/lap.2008.0001

Impact Factor: 1,01

Cardia Yield Pressure Measurement in an Infant Porcine Model: A Novel Technique to Evaluate the Quality of Laparoscopic Fundoplication

Robin Wachowiak, MD,¹ Alexandra Krauss,¹ Bernd Donaubauer, MD,² and Oliver J. Muensterer, MD, PhD^{1,3}

Abstract

Background: Cardia yield pressure (CYP) has been described as a measure of the combined effect of all antireflux mechanisms and not simply as another test of lower esophageal sphincter pressure. In this paper, we present a simple technique for the measurement of CYP before and after fundoplication through laparoscopic gastrostomy in an experimental pig model.

Materials and Methods: Twelve 8-week-old female pigs with a mean weight of 8.7 ± 0.7 kg underwent laparoscopic gastrostomy placement and Nissen fundoplication under general anesthesia. CYP was determined before and after the fundoplication by filling the stomach with water until reaching the pressure at which the cardia opened and became incompetent. Pre- and postoperative CYP was compared by using the Student's *t*-test for paired samples.

Results: Laparoscopic Nissen fundoplication and gastrostomy was completed in all pigs. CYP increased in all subjects after fundoplication, from a mean of 20 ± 8 to a mean of 63 ± 13 cm of H₂O ($p < 0.001$). The lowest increase in yield pressure of 17.5 cm was recorded after the first operation. Work-flow analysis revealed that this particular procedure took the longest, that bleeding from the liver was encountered, and shorter sutures than those used on all subsequent fundoplications may have compromised knot tying.

Conclusions: CYP increases consistently after laparoscopic Nissen Fundoplication in young pigs. This parameter may be a good indicator of antireflux efficacy and functional quality of the result. Yield pressure measured through laparoscopic gastrostomy offers a new, feasible, and effective technique for the evaluation of antireflux surgery in an experimental setting. Moreover, this minimally invasive technique may become a simple investigative tool for other antireflux procedures.

Introduction

OVER THE COURSE of the last few decades, many different surgical and interventional procedures have been described for the treatment of gastroesophageal reflux disease (GERD) in clinical and experimental studies. In order to compare different techniques, a precise parameter for the assessment of the competence of the cardia is, therefore, required. Some advocate lower esophageal sphincter pressure as an indicator for the efficacy of the antireflux procedure. However, different reports have indicated that the lower esophageal sphincter pressure is not a precise parameter for a successful intervention because it reflects only one aspect in the multifactorial genesis of GERD.^{1,2} Interestingly, lower

esophageal sphincter pressure did not directly correlate with a successful antireflux operation in some studies on Nissen fundoplication.^{3,4} Long-term pH monitoring, the clinical "gold standard" in GERD diagnosis, requires costly equipment and, therefore, is performed only in few experimental studies.⁵ Cardia yield pressure (CYP), known as the pressure at which the cardia opens in response to rising intragastric pressure, has been described as a useful parameter in the determination of the effectiveness of an antireflux operation.^{3,6} This functional parameter reflects the combined effect of all the antireflux mechanisms and is not simply another test of lower esophageal sphincter competence. In this study, we present a new, minimal invasive technique for determining CYP by laparoscopic gastrostomy to assess the quality and

¹Department of Pediatric Surgery, Children's University Hospital of Leipzig, Leipzig, Germany.

²Department of Anesthesiology and Intensive Care Medicine, University Hospital of Leipzig, Leipzig, Germany.

³Department of Pediatric Surgery, Children's Hospital of Alabama, University of Alabama at Birmingham, Birmingham, Alabama.

This paper was presented at the 2008 IPEG meeting in Cannes, France, June 12–15, 2008.

efficacy of experimental Nissen fundoplication in 12 infant pigs.

Materials and Methods

Animals and anesthesia

Approval of the research protocol was obtained from the animal research committee of the University of Leipzig (Leipzig, Germany) (registration no., W24/07). Twelve 8-week-old female pigs (*Sus scrofa domestica*) with mean weights of 8.7 ± 0.7 kg underwent laparoscopic gastrostomy and laparoscopic Nissen fundoplication. The animals were sedated with an intramuscular application of ketamine (10 mg/kg) and azaperone (15 mg/kg). After an intravenous application of ketamine (10 mg/kg) and propofol (1 mg/kg), the animals were endotracheally intubated and anesthesia was maintained by a 2–3% isoflurane inhalation. Each pig was positioned in a 30-degree left-side-up position to facilitate exposure of the stomach.

Laparoscopic gastrostomy

Abdominal insufflation with CO₂, with a pressure of 14 mm Hg and a flow rate of 5 L/min, commenced following the insertion of a 5-mm trocar under direct vision in the umbilicus. Four additional 5-mm laparoscopic ports were placed in the left flank, left-upper quadrant, epigastrium, and right-lower quadrant. The camera was inserted through the umbilical trocar, and the anterior-inferior wall of the stomach was exposed. A purse-string suture approximately 2 cm in diameter, using a 3/0 Maxon (United States Surgical, Norwalk, CT), was placed on the anterior gastric wall, with the ends of the suture exiting the left-flank trocar. In the center of the purse string, a perforation was created by using electrocautery and a 16-Fr feeding tube was inserted through the trocar in the left flank through the abdominal cavity of the piglet into the stomach (Fig. 1). For the fixation and sealing of the catheter, the purse-string suture was tightened. Next, the duodenum was exposed and clamped to pre-

vent transit of stomach contents distally into the bowel. At the same time, an 8-mm red rubber tube was placed into the esophagus to drain any water passing proximally. Following this maneuver, water was gradually installed through the catheter while verifying distension of the stomach and ruling out a leak by laparoscopy. The hydrostatic pressure, at which no further water escaped through the cardia, was measured by a vertical tube in cm H₂O. Thereafter, the stomach was completely decompressed by the gastrostomy and the tube was removed.

Laparoscopic Nissen fundoplication

The capnopneumoperitoneum was reestablished, and the Nissen fundoplication was performed. First, the peritoneum overlying the esophagus was incised and the right diaphragmatic crus was dissected to expose the hiatus. The widely gaping hiatus was subsequently closed by using a single 2-0 silk suture, including a small bite of the posterior esophagus. All sutures were tied by using the intracorporeal technique. The esophagus was then fixed to the anterior rim of the diaphragm by 2 additional stitches at the 2- and 10 o'clock positions. The retroesophageal space was prepared by blunt dissection. The gastric fundus was then pulled around the esophagus posteriorly. A so-called "shoeshine test" was performed by grasping the fundus left and right of the esophagus to verify correct geometric configuration before approximating the fundus portions anteriorly with a total of three 2-0 silk sutures, including a bite of tissue at the gastroesophageal junction. After the completion of the fundoplication, the gastrostomy tube was reinserted through the purse-string suture and the CYP was reevaluated, as described above.

Statistical analysis

All data are presented as the median. Pre- and postoperative CYP was compared by using the Student's *t*-test for matched, paired samples (WinStat 2001.1; R. Fitch Software, Staufen, Germany). A value of $p < 0.05$ was considered to be statistically significant.

Results

Operation time

Duration of the entire procedure—the laparoscopic gastrostomy and laparoscopic Nissen fundoplication—was 97 minutes (range, 75–120).

Perioperative complications

Laparoscopic Nissen fundoplication and gastrostomy placement were successfully completed in all pigs. No complications, such as bleeding, occurred in terms of the laparoscopic gastrostomy procedure or during the measurement of CYP.

Yield pressure

Mean CYP increased preoperatively from 20 ± 8 to 63 ± 13 cm of H₂O after the Nissen fundoplication ($P < 0.001$). The mean increase in CYP was 44 ± 12 cm of H₂O. The results of the individual pigs are shown in Table 1 and Figure 2. The lowest increase in CYP, of 17.5 cm of H₂O, was

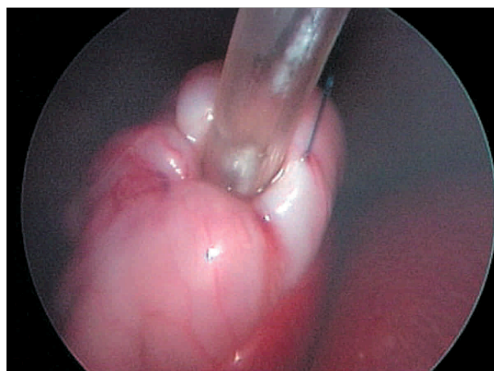


FIG. 1. Laparoscopic gastrostomy by placing a 16-Fr feeding tube through the trocar through a purse-string suture into the stomach to measure cardia yield pressure.

CARDIA YIELD PRESSURES AND LAPAROSCOPIC FUNDOPLICATION

889

TABLE 1. CARDIA YIELD PRESSURE (CM H₂O) MEASURED IN EACH PIG BEFORE AND AFTER LAPAROSCOPIC NISSEN FUNDOPLICATION

Pig number	Preoperative	Postoperative	Difference (ΔP)
1	13.5	31.0	17.5
2	13.5	64.0	50.5
3	13.5	64.0	50.5
4	14.5	65.0	50.5
5	16.0	51.0	35.0
6	10.0	69.0	59.0
7	23.0	74.0	51.0
8	35.0	80.0	45.0
9	19.0	64.0	45.0
10	32.0	57.0	25.0
11	30.0	70.0	40.0
12	19.0	72.0	53.0

recorded after the first operation. Work-flow analysis of the procedures revealed that this particular procedure took the longest, that bleeding from the liver was encountered during the dissection phase of the fundoplication, and shorter sutures (8 cm) than those used on all subsequent funduplications may have compromised knot tying. After this first procedure, all sutures used were cut to a length of 10 cm.

Discussion

GERD is known to be a multifactorial disorder⁷ and many factors, including intra-abdominal esophageal length, lower esophageal sphincter pressure, and the acuity of the angle of Hiss, play a role in preventing gastroesophageal reflux. Therefore, it would be desirable to develop a reliable evaluation tool for the efficacy of any antireflux procedure that in-

tegrates these different aspects into a single parameter. CYP, defined as the pressure at which the cardia opens in response to gastric distension, reflects the combined effect of all antireflux mechanisms and is, therefore, the ideal parameter to judge the quality and efficacy of a fundoplication. Compared to other methods, such as esophageal manometry, CYP is not simply another form of describing lower esophageal sphincter pressure.⁴

Our model aims to emulate the anatomic proportions and physiology for Nissen fundoplication in infants just under 1 year of age (8–10 kg). To our knowledge, no previous studies have evaluated CYP in a pig model, especially in pigs this young. In the current literature, different studies have shown that CYP is a valuable parameter in the measurement of the antirefluxive potential of a procedure. Ismail et al. introduced this concept over a decade ago and have validated CYP in a study on 155 patients.^{3,6} Resting CYP was significantly decreased in patients with esophagitis and increased markedly after fundoplication. Interestingly, there was no clear relationship between CYP and lower esophageal sphincter pressure determined by manometry alone.

Correspondingly, McGouran et al. reported an increase of CYP in 8 patients after successful Nissen fundoplication or a Belsey mark IV procedure,⁸ as determined by normal postoperative 24-hour pH-probe monitoring. The CYP did not change in 2 patients with persistent esophagitis after the operation. A rise in CYP was also noted after alternative procedures for gastroesophageal reflux, such as radiofrequency energy application to the gastroesophageal junction.⁹ In the last few years, a wide range of additional novel antireflux procedures have been described and examined in experimental models.^{2,10–12} CYP seems an ideal parameter for this setting.

A study by Richardson and Hunter,¹³ which examined the different types of fundoplication on cadaveric stomachs by measuring CYP, showed that the 360-degree Nissen fundoplication is the most competent antireflux valve, whereas partial funduplications were much less effective as an antireflux barrier. A potential limitation of this postmortem experiment was that dynamic aspects of esophageal and gastric motility could obviously not be considered. However, the results reported in this study showed a similar signifi-

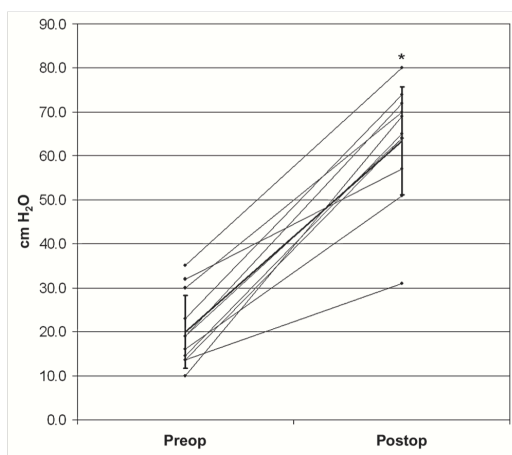


FIG. 2. Cardia yield pressure examined before and after laparoscopic Nissen fundoplication. There is a substantial increase of pressure in every case, indicating the antirefluxive effect of the Nissen fundoplication. Mean increase and standard deviations are represented in bold (* $P < 0.001$).

cant increase in CYP as seen after Nissens fundoplication in our own series.

Another study by Watson et al.¹⁴ examined the effect of fundoplication on lower esophageal sphincter pressures and cardia competence by a conventional performed gastrotomy in an adult porcine model. In contrast to our own study, the investigators measured only gastric infusion volumes and not specific CYPs. We believe that there is a disadvantage to evaluating the CYP by open gastrotomy as performed in most previous studies, because gastroesophageal reflux is not only dependent on the configuration of the gastroesophageal junction, but also of abdominothoracic pressure differences and the integrity of the abdominal wall. Laparoscopy allows the placement of the gastrotomy with minimal gastric mobilization and manipulation, and the capnoperitoneum can be deflated during the actual measurement period, which may more exactly simulate the actual physiologic circumstances.

It is important to realize that the technique of CYP measurement in this study was designed mainly for investigative purposes. In this context, it become a valuable tool to compare the effect of new surgical antireflux strategies. In the clinical setting, CYP could be measured either through a gastrotomy or through a nasogastric cannula, with a second tube placed at the level of the lower esophagus to detect retrograde efflux from the stomach. A considerable disadvantage to such *in vivo* measurements is the necessity to occlude the duodenum, which may predispose the patients to additional complications. Further, this test describes the status immediately at the operation. Because follow-up measurements would require a further invasive procedure, CYP measurements are useful to immediately judge the quality of an antireflux procedure, but probably less suitable to monitor and evaluate for recurrence.

Conclusions

In this paper, we have presented a new, minimal invasive technique for measuring CYP as a quantitative indicator of gastroesophageal competence before and after Nissen fundoplication in an infant pig model. This method may not only be suitable for investigating laparoscopic antireflux procedures, but also for other alternative procedures, before their indication is expanded into the pediatric age group. Complementary to pH-probe monitoring and esophageal manometry, CYP may become a simple, and precise quantitative parameter in the ad-hoc evaluation of antireflux procedure efficacy.

Disclosure Statement

No competing financial interests exist.

References

1. Bancewicz M, Mughal M, Maples M. The lower oesophageal sphincter after floppy Nissen fundoplication. *Br J Surg* 1987;74:162–164.
2. Martinez-Szerna T, Davis RE, Mason R, Perdakis G, Filipi CJ, Lehmann G, Nigro J, Watson P. Endoscopic valvuloplasty for GERD. *Gastrointest Endosc* 2000;52:663–670.
3. Ismail T, Bancewicz J, Barlow J. Yield pressure: A new concept in the evaluation of GERD. *Am J Gastroenterol* 1996;91:616–617.
4. Ritter MP, Peters JH, De Meester TR, Crookes PF, Mason JR, Green L, Tefera L, Bremer CG. Outcome after laparoscopic fundoplication is not dependent on a structurally defective lower oesophageal sphincter pressure. *J Gastrointest Surg* 1998;2:567–572.
5. Gawad KA, Wachowiak R, Rempf C, Tiefenbacher WJ, Strate T, Achilles EG, Blöchl C, Izbicki JR. Ambulatory long-term pH monitoring in pigs—establishment of an easy technique and determination of normal and pathological values in a reflux model. *Surg Endosc* 2003;17:1556–1560.
6. Ismail T, Bancewicz J, Barlow J. Yield pressure, anatomy of the cardia, and gastroesophageal reflux. *Br J Surg* 1995;82:943–947.
7. Zaninotto G, De Meester TR, Schwizer W, Johanson KE, Cheng SC. The lower oesophageal sphincter in health and disease. *Am J Surg* 1988;155:104–111.
8. McGouran RC, Galloway JM, Wells FC, Hendrie OR. Is yield pressure at the cardia increased by effective fundoplication? *Gut* 1989;30:1309–1312.
9. Utley DS, Kim M, Vierra MA, Triadafilopoulos G. Augmentation of lower esophageal sphincter pressure and gastric yield pressure after radiofrequency energy delivery to the gastroesophageal junction: A porcine model. *Gastrointest Endosc* 2000;52:81–86.
10. Mason JR, Hughes M, Lehmann GA, Chiao G, Deviere J, Silverman DE, De Meester TR, Peters JH. Endoscopic augmentation of the cardia with a biocompatible injectable polymer (Eneryx) in a porcine model. *Surg Endosc* 2002;16:386–391.
11. Yau P, Watson DI, Ascott N, Lafullarde T, Jamieson GG. Efficacy of a 90-degree anterior fundoplication vs. a total fundoplication in an experimental model. *Surg Endosc* 2000;14:830–833.
12. Utley DS. The Stretta procedure: Device, technique, and pre-clinical study data. *Gastrointest Endosc Clin N Am* 2003;13:135–145.
13. Richardson WS, Hunter JG. The “floppy” Nissen fundoplication is a competent antireflux valve. *Surg Endosc* 1999;13:142–145.
14. Watson DI, Mathew G, Pyke GK, Baigrie J. Efficacy of anterior, posterior, and total fundoplication in an experimental model. *Br J Surg* 1998;85:1006–1009.

Address reprint requests to:
Oliver J. Muensterer, MD, PhD
Department of Pediatric Surgery
Children's Hospital of Alabama
University of Alabama at Birmingham
1600 7th Avenue South, ACC 300
Birmingham, AL 35233

E-mail: oliver.muensterer@ccc.uab.edu

Copyright of Journal of Laparoendoscopic & Advanced Surgical Techniques is the property of Mary Ann Liebert, Inc. and its content may not be copied or emailed to multiple sites or posted to a listserv without the copyright holder's express written permission. However, users may print, download, or email articles for individual use.

3. Workflow-Analytischer Vergleich der CLNF vs. RANF – 3. Publikation

Die Fundoplikatio nach Nissen wird nach der Pyeloplastie am häufigsten roboter-assistiert durchgeführt und kann als effektiv und sicher eingestuft werden.

Das Da Vinci Telemanipulatorsystem[®] (Intuitive Surgical, Mountain View, CA, USA) soll insbesondere die Augen-Hand-Koordination verbessern und damit das Knüpfen eines intrakorporalen Knotens und die präzise Präparation des Operationssitus ermöglichen [Sinha 2008]. Weiter minimiert ein Tremorfilter artifizielle Bewegungen der Hände und die dreidimensionale Visualisierung sowie zusätzliche Freiheitsgrade der Instrumente tragen dazu bei, die chirurgische Präzision zu optimieren [Gutt 2002].

Allerdings stellt die Mehrheit aller bisherigen Studien die CLNF der RANF ausschließlich in Bezug auf die totale Operationszeit und die Kosten gegenüber. Im Kontrast zu Beobachtungen in der Erwachsenenchirurgie liefert gemäß einem Review von Albassam et al. die RANF vs. der CLNF bei Kindern vergleichbare Ergebnisse in Hinsicht auf oben genannte Kriterien. Diese besitzen allerdings für die Effektivität des Eingriffes wenig Aussagekraft [Albassam 2009]. Bislang fehlt es an objektiven Daten, ob und inwiefern die roboter-assistierte Chirurgie gegenüber der konventionell laparoskopischen Chirurgie mit speziellem Focus auf die Fundoplikatio im Säuglingsalter überlegen ist.

Das Ziel dieser experimentellen Studie war es, die Techniken der CLNF und RANF, wovon erstere als Standard der operativen Therapie der GERD im Kindesalter gilt, anhand workflow-analytischer Vergleichskriterien quantitativ als auch qualitativ in Hinsicht auf Geschwindigkeit, Sicherheit, Genauigkeit und Effizienz zu evaluieren.

Dafür benutzten wir ein zuvor von uns entwickeltes Modul einer computer-assistierten Workflow-Erhebung, das speziell auf die Operationstechnik der Fundoplikatio nach Nissen ausgerichtet wurde. Nach Segmentierung des chirurgischen Workflows in spezielle Phasen konnten die zur Komplettierung vorab definierter Aktionen benötigten Zeiten mit Hilfe des Student's *t*-Tests verglichen werden. Die Qualität des Knoten-Knüpfens wurde anhand eines speziellen Punktesystems beurteilt, die Effizienz der Fundoplikatio mittels Messung des Kardialöffnungsdruckes.

Title: Laparoscopic versus robot - assisted Nissen fundoplication in an infant pig model

Author(s): Krauss A, Neumuth Th, Wachowiak R, Donaubauer B, Korb W, Burgert O, Muensterer OJ.

Source: Pediatr Surg Int. 2011 Dec 27. [Epub ahead of print] PMID: 22200733

Published online: 27. Dezember 2011

References: 36

Document Type: Internet Resource, Computer File, Journal / Magazine / Newspaper

Language: English

Publisher: Springer Verlag International

Subject Category: Preclinical research

ISSN: 1437-9813 (Electronic)

Impact Factor: 0,95

Laparoscopic versus robot-assisted Nissen fundoplication in an infant pig model

Alexandra Krauss · Thomas Neumuth ·
Robin Wachowiak · Bernd Donaubauer ·
Werner Korb · Oliver Burgert · Oliver J. Muensterer

Accepted: 13 December 2011
© Springer-Verlag 2011

Abstract

Purpose Surgical robots are designed to facilitate dissection and suturing, although objective data on their superiority are lacking. This study compares conventional laparoscopic Nissen fundoplication (CLNF) to robot-assisted Nissen fundoplication (RANF) using computer-based workflow analysis in an infant pig model.

Methods CLNF and RANF were performed in 12 pigs. Surgical workflow was segmented into phases. Time required to perform specific actions was compared by *t* test. The quality of knot-tying was evaluated by a skill scoring system. Cardia yield pressure (CYP) was determined to test the efficacy of the funduplications, and the incidence of complications was compared.

Results There was no difference in average times to complete the various phases, despite faster robotic knot-tying ($p = 0.001$). Suturing quality was superior in CLNF

($p = 0.02$). CYP increased similarly in both groups. Workflow-interrupting hemorrhage and pneumothorax occurred more frequently during CLNF ($p = 0.040$ and 0.044 , respectively), while more sutures broke during RANF ($p = 0.001$).

Conclusion The robot provides no clear temporal advantage compared to conventional laparoscopy for fundoplication, although suturing was faster in RANF. Fewer complications were noted using the robot. RANF and CLNF were equally efficient anti-reflux procedures. For robotic surgery to manifest its full potential, more complex operations may have to be evaluated.

Keywords Workflow analysis · Laparoscopy · Robot · Fundoplication · Infant pig

Introduction

Robot-assisted endosurgery has been introduced into clinical practice over a decade ago and has been advocated as a means of facilitating exposure, dissection, and knot-tying due to 3-D visualization and additional degrees of freedom when moving the instruments. Most robot-assisted operations have been performed in adults, but recently, more and more pediatric experience has been published [1]. Some pediatric surgeons strongly advocate robotic surgery for Nissen fundoplication in children [2, 3]. In fact, after several inanimate training sessions robot using a peg board and suture model, we were subjectively biased that the 3-D vision and the extended range of motion would greatly facilitate fundoplication, particularly in a small space such as the abdomen of an infant. To date, however, very little objective data exist on whether robotic surgery is indeed superior to conventional laparoscopy, and if so, in which aspects.

A. Krauss · R. Wachowiak · O. J. Muensterer
Department of Pediatric Surgery,
University of Leipzig, Leipzig, Germany

T. Neumuth · W. Korb · O. Burgert
ICCAS, Innovation Center Computer Assisted Surgery,
Leipzig, Germany

B. Donaubauer
Department of Anesthesia and Intensive Care Medicine,
University of Leipzig, Leipzig, Germany

W. Korb
Interdisciplinary Innovation Lab Life Science Engineering,
University of Applied Sciences (HTWK), Leipzig, Germany

O. J. Muensterer (✉)
Division of Pediatric Surgery, Weill Cornell Medical College,
525 East 68th Street, Box 209, New York, NY 10065, USA
e-mail: oliver.muensterer@att.net

Published online: 27 December 2011

 Springer

We previously developed a technique of computerized workflow analysis for laparoscopic Nissen fundoplication, which allows real-time assessment of the different tasks comprising the operation [4–6]. The aim of this study was therefore to objectively compare the techniques of the conventional laparoscopic Nissen fundoplication (CLNF) to robot-assisted Nissen fundoplication (RANF) both quantitatively and qualitatively in terms of speed, complications, accuracy and efficiency using this novel computer-based video workflow analysis in an experimental infant pig model.

Materials and methods

Study design

The experiment was approved by the animal ethics committee of the University of Leipzig, registration number W24/07. Conventional laparoscopic Nissen fundoplication (CLNF) and robot-assisted Nissen fundoplication (RANF) were performed in a total of 24 infant pigs (*Sus scrofa domestica*, 12 pigs each group, age 6–8 weeks, weight 7–10.8 kg, mean 8.6 kg). Based on synchronized intra- and extra-corporeal movie recordings of the procedure, the surgical workflow was segmented into temporal phases (preparation, dissection, reconstruction, conclusion) using a specially designed computer program. All actions were recorded in a virtual timeline and the time necessary to perform these actions was compared by *t* test. Quality of knot-tying was evaluated by a modified objective skill scoring system [7, 8]. To test the efficacy of CLNF and RANF, cardia yield pressures (CYP) were determined pre- and post fundoplication via a gastrostomy tube placed before the fundoplication as described previously [9]. The incidence of complications was compared using the Fisher exact test.

Anesthetic technique, preparation, and set-up

Anesthesia was induced and maintained by a continuous intravenous infusion of ketamine 10 mg/kg/h and propofol 1 mg/kg/h. The piglets were endotracheally intubated and ventilated with 2–3% isoflurane.

All operations were performed by a single surgeon and the same assistants. The piglets were positioned and fixed in a 30° left-side-up mild reverse trendelenburg position. After placement of the umbilical trocar, the capnoperitoneum was insufflated with a pressure of 14 mmHg and a flow of 5 l/min.

The setup phase included positioning and fixation of the piglet on the operating table, induction of anesthesia, intubation, placement of the trocars, and docking of the robot.

CLNF

A 5 mm trocar was placed in the umbilicus and four further 5 mm trocars in the right and left upper quadrant, the left flank and the right lower quadrant. Standard 5 mm endoscopic instruments (Maryland-Dissector, grasping forceps, needle driver, electric hook and hook-scissors) and a 5 mm 30° endoscope (Karl Storz GmbH, Tuttlingen, Germany) were used for all interventions.

RANF

A DaVinci computer enhanced telemanipulator system (Intuitive Surgical, Mountain View, CA, USA) with two instrument arms and one camera arm was used. The robot cart was placed at the head of the operating table. A 12 mm trocar was placed in the umbilicus to accommodate the camera. The special DaVinci 8 mm instrument trocars were placed in the right and left upper abdominal quadrants, with the fulcrum mark at the level of the fascia, and the right and left robotic servo arms were attached to the trocars. Initially, a 8 mm robotic dissecting grasper was introduced into the abdomen on the right and a 8 mm hook electrocautery instrument on the left. Three additional 5 mm trocars were placed in the lower abdomen for the assistant who facilitated retraction and cutting of the sutures after robotic knot-tying. These trocars were also used for the gastrostomy.

Gastrostomy

In both study groups, a gastrostomy tube was inserted into the stomach before Nissen fundoplication by placing a 3-0 glycolide/trimethylene carbonate (MaxonTM, Covidien, Mansfield, MA) pursestring suture on the anterior aspect of the stomach close to the greater curvature, inserting a 16F feeding tube through the lower abdominal trocar site into the stomach, and tying the pursestring suture around it.

Technique of Nissen fundoplication

The technique used for the Nissen fundoplication has been described elsewhere in detail [10] and was adapted for the porcine anatomy. Briefly, the gastrohepatic ligament was grasped and incised upward to the hiatus. The right and left diaphragmatic crura were dissected and the esophagus was mobilized anteriorly, creating a posterior retroesophageal window. The posterior hiatus was closed using a single silk suture, incorporating a small bite of the posterior esophagus. All intracorporeal knots were performed with 12 cm long 2-0 silk sutures on a KR ski-shaped non-cutting needle (Catgut GmbH, Markneukirchen, Germany). Two collar stitches were placed at the 2 and 10 o'clock position

Table 1 Average time (seconds) required for the different phases of fundoplication for the robot-assisted (RANF) and conventional laparoscopic (CLNF) procedures in seconds

Operating mode	Phase				Total OP time
	Preparation	Dissection	Reconstruction	Conclusion	
RANF	2,325 ± 455	799 ± 401	2,252 ± 464	432 ± 143	5,808 ± 1,029
CLNF	2,551 ± 1,017	1,130 ± 644	2,005 ± 608	379 ± 110	6,065 ± 1,317
<i>p</i>	0.48	0.15	0.28	0.33	0.61

of the hiatus. Because of the large, mobile fundus in pigs, the gastrosplenic ligament or the short gastric vessels were not divided. The fundus was rotated and passed behind the esophagus and good geometry was confirmed by a shoe-shine maneuver. The actual fundoplication was then performed using three sutures incorporating gastroesophageal junction. All knots were tied in an intracorporeal technique using a total of five throws, the first being a double (surgical) throw. At the end of the procedure, the instruments and trocars were removed and the wounds were closed in two layers. In RANF, the hook electrocautery was changed out to a 8 mm robotic needle driver after completion of the dissection phase and commencement of the reconstruction phase.

Workflow and data analysis

Surgical workflow was recorded in real-time using intra- and extra-corporeal movie recordings. All actions were documented in a virtual timeline using a custom-made workflow editor (Innovation Center Computer Assisted Surgery (ICCAS), Leipzig, Germany) in XML metalanguage. The creation of the surgical workflow and detailed information about how to analytically compare the efficacy of an operation are published elsewhere [4, 5]. The operation was systematically partitioned into four phases, and the workflow of each phase was then broken down into specific tasks, such as knot-tying, which were evaluated independently. All digital videos were reviewed and scored by the composite score [7] to objectively demonstrate surgical skill by scoring the individual steps of knot-tying, with a maximum error-free score of 125. Mean times and standard deviations were calculated and compared for each phase, task, and step throughout the study.

All statistical analyses were performed using the Student *t* test for matched paired samples (WinSTAT 2001.1, R. Fitch Software, Staufen, Germany). Intraoperative complications were recorded and compared by Fisher's exact test.

Results

There was no difference in total operating time or time to complete the individual phases between RANF and CLNF

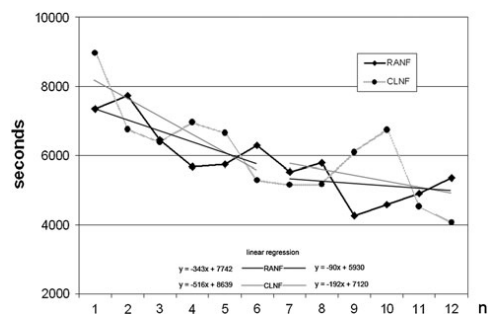


Fig. 1 Total operating time of the sequentially operated piglets for robot-assisted and conventional laparoscopic Nissen fundoplication in seconds. Linear regression trend lines are included for the first and last six operations of each method. Overall, the decrease of the operating times is less pronounced in the RANF group, and almost reaches a plateau in the latter six cases

(Table 1). Over the course of the experiment, total operating time decreased similarly in both groups and reached a plateau after 4–6 procedures (Fig. 1).

Figure 2 compares the individual steps of suturing. Knot-tying was significantly faster in RANF compared to CLNF (85 ± 44 vs. 121 ± 53 s, $p = 0.001$), while cutting the suture took longer in RANF than in CLNF (29 ± 10 vs. 15 ± 7 s, $p = 0.001$).

Mean composite score as an indicator of suturing quality was slightly lower for RANF versus CLNF (110.9 ± 9.1 vs. 116.5 ± 5.3 , $p = 0.02$), indicating a higher measure of dexterity for conventional laparoscopic surgery.

The average rise in CYP (the difference between pre- and post-operative CYP) did not differ between both groups (Fig. 3, $p = 0.67$). Both methods were therefore equally effective in preventing gastroesophageal reflux.

Pneumothorax occurred in four piglets who underwent CLNF, and in none of the RANF group ($p = 0.044$). Workflow-interrupting bleeding (defined as bleeding that prompted the surgeon to interrupt the standard procedure of fundoplication and intervene by either cauterization or ligation of the bleeding source) occurred in nine piglets during CLNF and four during RANF ($p = 0.040$). A tear of the suture was noticed seven times during knot-tying in RANF, but not in any of the CLNFs ($p = 0.001$). Figure 4 shows a visual comparison of these complications.

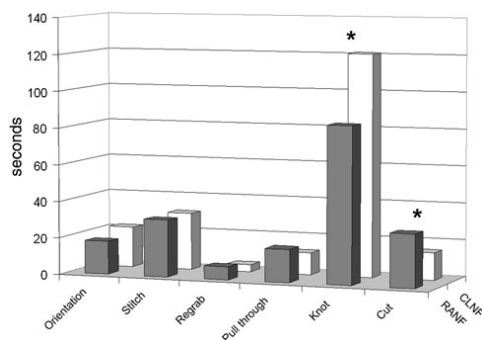


Fig. 2 Time (s) needed to complete the individual six steps of suturing. Knot-tying was faster using the robot, while cutting the suture was faster in conventional laparoscopic technique (* $p = 0.001$)

Discussion

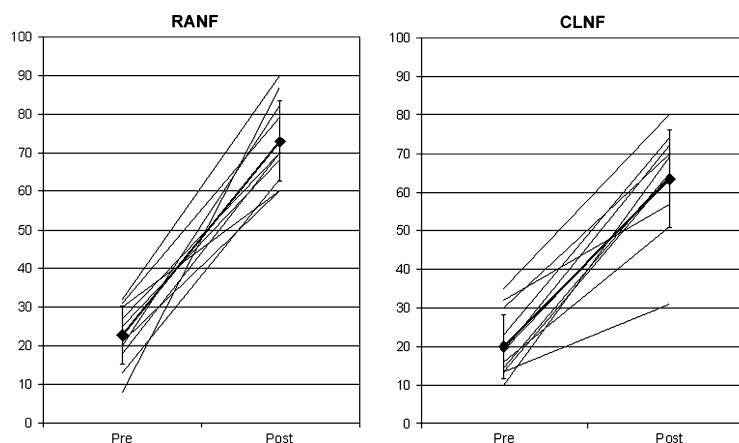
Robot-assisted surgery is establishing itself more broadly in all aspects of surgery. Its first use for in a child was reported in 2001, when Meininger et al. [11] performed a Nissen fundoplication in a 10-year-old girl. Since then, it has been applied for pediatric urologic [12–15], cardiac [16, 17], hepatobiliary [18, 19], diaphragmatic [20, 21], thoracic [22, 23], and anti-reflux procedures [24–26].

Pediatric robotic surgery has been compared to conventional laparoscopy in the clinical setting for patent ductus arteriosus ligation [27], Thal semifundoplication [28], and renal pyeloplasty [29] without clear advantages of either technique. Recently, laparoscopic and robotic Nissen fundoplication was compared in a total of 50 children, also showing no difference in operative times, intra- and post-operative complications, analgesic requirements, length of

stay, or impact on gastroesophageal reflux symptoms [30]. In another study, the robotic-assisted group required less morphine, and was discharged earlier. Considering all variables, the total cost for RANF was calculated as 7% higher than CLNF, and 9% lower than the open procedure [31]. Furthermore, a recent meta-analysis showed no obvious advantages of RANF versus CLNF in adults [32].

The surgeon who performed the procedures had a personal experience of about 80 laparoscopic Nissen fundoplications in children of all ages, and about 3 h of dry-lab training on the robotic telemanipulator before conducting this study. Subjectively, the robot seemed intuitive and easy to use. Although the surgeon performing the operations had only minimal prior experience with the robot, all tasks were completed without difficulty. Due to the robotic inexperience of the surgeon, we expected that the learning curve would be much steeper in RANF compared to CLNF, which was not the case. In fact, on linear regression (Fig. 4), the decline of operating time was slower for RANF, and almost reached a plateau in the latter half of cases. Interestingly, the times for CLNF declined more dramatically in the initial part of the study, and continued to decline over the last six operations. This may be due to peculiarities related to the pig model, such as the large mobile liver, the mobile spleen, a propensity for bleeding from caval bleeding and the development of pneumothorax. When this study was designed, the planned number of operations in each study arm was based on the published data, according to which the learning curve for defined robotic tasks in a dry-lab setting flattens after 10 min of training [33], and a plateau is reached in the clinical setting after 10–50 cases, depending on the type of operation [34]. In future studies, a larger number of operations may be necessary to account for the above extrinsic factors and reach a flat part of the learning curve.

Fig. 3 Increases in cardia yield pressure as a parameter of anti-reflux effect after RANF (left) and CLNF (right) in cm H₂O. There was no difference in the mean increases resulting from the procedures ($p = 0.67$)



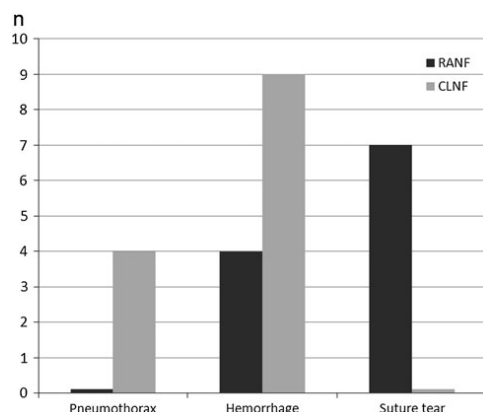


Fig. 4 Bar graph of the number of significant complications that occurred during the study

Despite speculations that a potential advantage in robotic dissection and reconstruction times would be offset by an increase in robot set-up and docking, this notion was not corroborated in the temporal analysis of the individual phases presented in Table 1. Furthermore, the comparable rise in CYP demonstrates that an equally effective fundoplication was achieved by RANF and CLNF. Docking the robot may have been faster than in the clinical setting because the operations were carried out in a non-sterile surgical field, as all surgeries were final with the piglets being euthanized in anesthesia directly after the procedure. In a clinical randomized controlled trial of 45 adult patients [35], however, the set-up including docking the robot was only slightly longer for robot-assisted versus conventional laparoscopic fundoplication (23 vs. 20 min, $p = 0.05$).

Interestingly, the advantages of the robot did seem to translate into significantly faster suturing. This corresponds to the findings in another recent study, in which novice medical students were assessed performing robot-assisted and conventional laparoscopic knot-tying in a porcine Nissen fundoplication model [36]. The lower composite score in our study may be attributed to the previous lack of experience in robotic suturing, in contrast to the surgeon's extensive experience with laparoscopic knot-tying. While suturing was faster with the robot, cutting the suture subsequently took less time laparoscopically, most likely because cutting the suture during the robotic surgery required the interaction and coordination of the surgeon at the console and an assistant at the operating table.

A disadvantage of the robot is the lack of haptic feedback during suturing and tissue manipulation. It is easy to exert too much tension on the suture, leading to unintentional suture breaks not observed in the conventional

laparoscopic operations. None of these tears resulted in the need to place a new suture. Currently, a further disadvantage of the robot is the relatively large size of the required trocars. The 3-D camera requires placement of a 12 mm trocar, whereas most conventional laparoscopic fundoplications in infants are routinely performed using a 3–5 mm trocar in the clinical setting. Also, the robot model we used for the experiments requires placement of special 8 mm trocars for the telemanipulator instruments, while laparoscopic fundoplication again is usually performed through 3–5 mm access sites. However, robotic instrument and hence trocar size may decrease with new hardware versions in the future.

The DaVinci robot provides no clear advantage in overall the operating speed compared to conventional laparoscopy for Nissen fundoplication in an infant pig model, despite faster suturing. Most importantly, however, less bleeding and pneumothoraces occurred during robotic-assisted fundoplication, possibly due to the improved, 3-D visualization during hiatal dissection. Whether the robot indeed increases safety should be the subject of future investigations. RANF and CLNF were equally efficient anti-reflux procedures as measured by CYP. The full potential of robotic surgery may only become evident in more complex operations than Nissen fundoplication. These should be evaluated in further studies before universal recommendations for or against the clinical application of robots in pediatric surgery are made.

Conflict of interest None of the authors have any financial relationship with the organization that sponsors the research, or any other type of conflict of interest.

References

1. Meehan JJ, Sandler A (2008) Pediatric robotic surgery: a single-institutional review of the first 100 consecutive cases. *Surg Endosc* 22:177–182
2. Heller K, Gutt C, Schaeff B, Beyer PA, Markus B (2002) Use of the robot system DaVinci for laparoscopic repair of gastro-oesophageal reflux in children. *Eur J Pediatr Surg* 12:239–242
3. Meehan JJ, Meehan TD, Sandler A (2007) Robotic fundoplication in children: resident teaching and a single institutional review of our first 50 patients. *J Pediatr Surg* 42:2022–2025
4. Krauss A, Muensterer OJ, Neumuth T, Wachowiak R, Donaubauer B, Korb W, Burgert O (2009) Workflow analysis of laparoscopic Nissen fundoplication in infant pigs—a model for surgical feedback and training. *J Laparoendosc Adv Surg Tech A* 19:S117–S122
5. Neumuth T, Krauss A, Meixensberger J, Muensterer OJ (2011) Impact quantification of the daVinci telemanipulator system on surgical workflow using resource impact profiles. *Int J Med Robot* 7:156–164
6. Neumuth T, Jannin P, Strauss G, Meixensberger J, Burgert O (2009) Validation of knowledge acquisition for surgical process models. *J Am Med Inform Assoc* 16:72–80

7. Chang L, Satava RM, Pellegrini CA, Sinanan MN (2003) Identifying the learning curve through objective measurement of skill. *Surg Endosc* 17:1744–1748
8. Rosser JC, Rosser LE, Savalgi RS (1997) Skill acquisition and assessment for laparoscopic surgery. *Arch Surg* 132:200–204
9. Wachowiak R, Krauss A, Donaubauer B, Muensterer OJ (2008) Cardia yield pressure measurement in an infant porcine model. A novel technique to evaluate the quality of laparoscopic fundoplication. *J Laparoendosc Adv Surg Tech A* 18:887–890
10. Frykman PK, Georgeson KE (2008) Laparoscopic Nissen fundoplication. In: Bax KM, Georgeson KR, Rothenberg SS, Valla JS, Yeung CK (eds) *Endoscopic surgery in infants and children*. Springer, Heidelberg, pp 253–259
11. Meininger DD, Byhahn C, Heller K, Gutt CN, Westphal K (2001) Totally endoscopic Nissen fundoplication with a robotic system in a child. *Surg Endosc* 15:1360
12. Peters CA (2004) Robotically assisted surgery in pediatric urology. *Urol Clin N Am* 31:743–752
13. Volfson IA, Munver R, Esposito M, Dakwar G, Hanna M, Stock JA (2007) Robot-assisted urologic surgery: safety and feasibility in the pediatric population. *J Endourol* 21:1315–1318
14. Passerotti CC, Diamond DA, Borer JG, Eisner BH, Barrisford G, Nguyen HT (2008) Robot-assisted laparoscopic ureteroureterostomy: description of technique. *J Endourol* 22:581–584
15. Casale P (2009) Robotic pyeloplasty in the pediatric population. *Curr Urol Rep* 10:55–59
16. Suematsu Y, Mora BN, Mihaljevic T, del Nido PJ (2005) Totally endoscopic robotic-assisted repair of patent ductus arteriosus and vascular ring in children. *Ann Thorac Surg* 80:2309–2313
17. Baird CW, Stamou SC, Skipper E, Watts L (2007) Total endoscopic repair of a pediatric atrial septal defect using the da Vinci robot and hypothermic fibrillation. *Interact Cardiovasc Thorac Surg* 6:828–829
18. Woo R, Le D, Albanese CT, Kim SS (2006) Robot-assisted laparoscopic resection of a type I choledochal cyst in a child. *J Laparoendosc Adv Surg Tech A* 16:179–183
19. Meehan JJ, Elliott S, Sandler A (2007) The robotic approach to complex hepatobiliary anomalies in children: preliminary report. *J Pediatr Surg* 42:2110–2114
20. Meehan JJ, Sandler A (2007) Robotic repair of a bochdalek congenital diaphragmatic hernia in a small neonate: robotic advantages and limitations. *J Pediatr Surg* 42:1757–1760
21. Anderberg M, Kockum CC, Ambjörnsson E (2009) Morgagni hernia repair in a small child using da Vinci robotic instruments—a case report. *Eur J Pediatr Surg* 19:110–112
22. Meehan JJ, Phearman L, Sandler A (2008) Robotic pulmonary resections in children: series report and introduction of a new robotic instrument. *J Laparoendosc Adv Surg Tech A* 18:293–295
23. Meehan JJ, Sandler AD (2008) Robotic resection of mediastinal masses in children. *J Laparoendosc Adv Surg Tech A* 18:114–119
24. Knight CG, Lorincz A, Gidell KM, Lelli J, Klein MD, Langenburg SE (2004) Computer-assisted robot-enhanced laparoscopic fundoplication in children. *J Pediatr Surg* 39:864–866
25. Meehan JJ, Meehan TD, Sandler A (2007) Robotic fundoplication in children: resident teaching and a single institutional review of our first 50 patients. *J Pediatr Surg* 42:2022–2025
26. Anderberg M, Kockum CC, Ambjörnsson E (2007) Robotic fundoplication in children. *Pediatr Surg Int* 23:123–127
27. Le Bret E, Papadatos S, Folliguet T, Carbognani D, Pétrie J, Aggoun Y, Batisse A, Bachet J, Laborde F (2002) Interruption of patent ductus arteriosus in children: robotically assisted versus videothoracoscopic surgery. *J Thorac Cardiovasc Surg* 123:973–976
28. Lehnert M, Richter B, Beyer PH, Heller K (2006) A prospective study comparing operative time in conventional laparoscopic and robotically assisted Thal semifundoplication in children. *J Pediatr Surg* 41:1392–1396
29. Franco I, Dyer LL, Zelkovic P (2007) Laparoscopic pyeloplasty in the pediatric patient: hand sewn anastomosis versus robotic assisted anastomosis—is there a difference? *J Urol* 178:1483–1486
30. Albassam AA, Mallick MS, Gado A, Shoukry M (2009) Nissen fundoplication, robotic-assisted versus laparoscopic procedure: a comparative study in children. *Eur J Pediatr Surg* 19:316–319
31. Anderberg M, Kockum CC, Ambjörnsson E (2009) Paediatric robotic surgery in clinical practice: a cost analysis. *Eur J Pediatr Surg* 19:311–315
32. Mi J, Kang Y, Chen X, Wang B, Wang Z (2010) Whether robot-assisted laparoscopic fundoplication is better for gastroesophageal reflux disease in adults: a systematic review and meta-analysis. *Surg Endosc* 24:1803–1814
33. Jacobs LK, Shayani V, Sackier JM (1997) Determination of the learning curve of the AESOP robot. *Surg Endosc* 11:54–55
34. Kho RM (2011) Comparison of robotic-assisted laparoscopy versus conventional laparoscopy on skill acquisition and performance. *Clin Obstet Gynecol* 54:376–381
35. Müller-Stich BP, Reiter MA, Wente MN, Brintan VV, Königer J, Büchler MW, Gutt CN (2007) Robot-assisted versus conventional laparoscopic fundoplication: short-term outcome of a pilot randomized controlled trial. *Surg Endosc* 21:1800–1805
36. Stefanidis D, Wang F, Korndorffer JR Jr, Dunne JB, Scott DJ (2010) Robotic assistance improves intracorporeal suturing performance and safety in the operating room while decreasing operator workload. *Surg Endosc* 24:377–382

III. Zusammenfassung

Kumulative Dissertation zur Erlangung des akademischen Grades Dr. med.

Titel: Workflow-Analytischer Vergleich der Konventionell
Laparoskopischen versus Roboter-Assistierten Nissen
Fundoplikatio am experimentellen Tiermodell

Eingereicht von: Alexandra Krauß

Angefertigt an: Klinik und Poliklinik für Kinderchirurgie,
Universität Leipzig

Betreuer: PD Dr. med. habil. O.J. Münsterer
Prof. Dr. sc. hum. W. Korb

18. Juni 2013

Zusammenfassung

Hintergrund

Der transiente gastroösophageale Reflux ist ein physiologisches Ereignis, meist ohne pathologische Konsequenzen, sowohl bei Kindern als auch bei Erwachsenen.

Tritt dieser allerdings qualitativ und quantitativ vermehrt auf, können eine Vielzahl an gastrointestinalen und extraösophagealen Symptomen bis hin zu schwerwiegenden Langzeitkomplikationen resultieren (Gastroesophageal Reflux Disease, GERD). Gerade das bessere Verständnis der Pathogenese sowie die optimierte Diagnostik der GERD erlauben es diese Krankheit in jüngster Zeit frühzeitig zu detektieren und adäquat zu behandeln.

Die Antirefluxchirurgie (ARC) stellt weltweit die am häufigsten durchgeführte Operation an Kindern dar und etablierte sich als Goldstandard der operativen Therapie der GERD im Kindesalter, seit Dallemagne et al. 1991 in Belgien die erste laparoskopische Nissen Fundoplikatio durchführten.

Im vergangenen Jahrzehnt wurde die roboter-assistierte Chirurgie von einigen Operateuren, speziell bei Nissen Fundoplikationen im Kindesalter, aufgrund der dreidimensionalen Darstellung und der zusätzlichen Freiheitsgrade der Instrumente befürwortet.

Momentan existieren allerdings wenig objektive Daten darüber, ob und in welcher Hinsicht die roboter-assistierte Fundoplikatio nach Nissen (RANF) der konventionell laparoskopischen Fundoplikatio nach Nissen (CLNF) überlegen ist.

Zielsetzung

Deshalb war es das Ziel dieser Arbeit mit Hilfe eines zuvor von uns entwickelten Moduls einer computer-assistierten Workflow-Erhebung, das speziell auf die Operationstechnik der Fundoplikatio nach Nissen ausgerichtet wurde, die Techniken der CLNF und der RANF anhand dieser workflow-analytischen Vergleichskriterien am Tiermodell objektiv zu evaluieren.

Es war uns ein besonderes Anliegen eine Methode zu entwickeln, die sowohl die analytische Beschreibung der Nissen Fundoplikatio im Kindesalter als auch deren Evaluation und Vergleichbarkeit anstrebt.

Methodik

An jeweils zwölf weiblichen infantilen Schweinen (Rasse: *Sus scrofa domestica*, Gewicht: 7-10,8 kg, Alter: 6-8 Wochen) wurde respektive eine CLNF oder RANF durchgeführt, die mittels Workflow-Analyse sowohl quantitativ als auch qualitativ in Hinsicht auf Geschwindigkeit, Sicherheit, Genauigkeit und Effizienz verglichen wurde.

Wir entschieden uns bei der Wahl des Tiermodells für infantile Schweine, da diese in der Literatur aufgrund anatomischer und physiologischer Ähnlichkeiten zum Menschen – besonders der gastroösophagealen und hiatalen Regionen - als adäquates Tiermodell beschrieben wurden.

Da sich Workflow-Analysen bereits in vielen medizinischen und außermedizinischen Bereichen etabliert haben, um komplexe Arbeitsabläufe zu deren Optimierung sowohl quantitativ als auch qualitativ einzuschätzen, nutzten wir diese Methode, damit eine analytische Beschreibung des Operationsverfahrens der Nissen Fundoplikatio als auch dessen Evaluation und Vergleichbarkeit ermöglicht wird.

Ein eigens angefertigter rechner-unterstützter Workflow-Editor mit der sogenannten "XML – Metasprache" erlaubte es uns, die intraoperativen Interventionen virtuell zu beschreiben und nachzuvollziehen sowie computer-assistiert auszuwerten. Nach Segmentierung des chirurgischen Workflows in spezielle Phasen konnten die zur Komplettierung vorab definierter Aktionen benötigten Zeiten mit Hilfe des Student's *t*-Tests verglichen werden.

Besonderes Augenmerk wurde dabei auf den komplexen Ablauf einer intrakorporalen Naht gelegt, der bereits von anderen Autoren systematisch beschrieben wurde. Chang et al. entwickelten ein objektivierendes Bewertungssystem für das endoskopische Knotenbilden, indem er analog unserer Einteilung die essentiellen Schritte eines Knoten definierte und die erfolgreiche Fertigstellung mit Hilfe einer Wertung der Rohdaten und der Fehler analysierte. Mittels dieses speziellen Punktesystems wurde die Qualität des Knoten-Knüpfens beurteilt. Die Effizienz der Fundoplikatio testeten wir durch Messung des Kardiasöffnungsdruckes (CYP).

Dafür wurde der CYP über einen Katheter, der zuvor durch eine Gastrostomie in den Magen eingeführt wurde, prä – und postoperativ gemessen. Durch intragastrale Flüssigkeitsinsufflation bis zur Öffnung der Kardias wurde der CYP bestimmt und die Druckdifferenzen mittels Student's *t*-Test verglichen. Die Methode der CYP - Messung mittels Gastrostomie haben wir speziell für unsere Versuche an Schweinen entwickelt.

Die intraoperativ aufgetretenen Komplikationen wurden zwischen CLNF und RANF statistisch verglichen. Vorerst testeten wir die Workflow-Analysen am Model der CLNF und konnten somit die Lernkurve des Operators in dieser Operationstechnik und am infantilen Schweinemodel aufzeichnen.

Ergebnisse

Die durchschnittliche Operationszeit zur Komplettierung der CLNF betrug 6071 ± 1321 Sekunden. Im gesamten Verlauf der Studie beschleunigte sie sich von 8958 Sekunden (Schwein 1) auf 4072 Sekunden (Schwein 12). Obgleich die Zeiten der präoperativen Vorbereitung (4577 Sekunden bei Schwein 1 vs. 1379 Sekunden bei Schwein 12) und der Dissektion (2359 Sekunden bei Schwein 1 vs. 399 Sekunden bei Schwein 12) signifikant abnahmen, zeigte sich keine Verbesserung der Rekonstruktions - und der Verschlussphase. Die Segmentierung einer intrakorporalen Naht in sieben vordefinierte Schritte und die dafür jeweils benötigten Zeiten untermauern das Bilden eines Knotens als zeitintensivsten Part einer Naht. Die durchschnittliche Zeit zum Vollenden eines intrakorporalen Knotens betrug 121 ± 43 Sekunden.

Um die Effizienz der Fundoplikatio objektiv und intraoperativ zu erfassen, nutzten wir die von uns modifizierte Methode der Messung des CYP. Dieser stieg im Durchschnitt von präoperativ 20 ± 8 cmH₂O auf postoperativ 63 ± 13 cmH₂O.

Nach Validierung der oben genannten Effizienztestungen nutzen wir diese für den Vergleich der Operationstechniken der CLNF und der RANF. Jede der zwei Techniken wurde an respektive zwölf weiblichen infantilen Schweinen der Rasse *Sus scrofa domestica* durchgeführt und postoperativ gegenüber gestellt.

Der Unterschied zwischen den totalen Operationszeiten und der durchschnittlichen Dauer der einzelnen Operationsphasen stellte sich als nicht signifikant dar. So betrug die totale Operationszeit für die CLNF 6065 ± 1317 Sekunden vs. der RANF 5808 ± 1028 Sekunden. In beiden Versuchsgruppen konnte eine Beschleunigung in der Durchführung der Operationen verzeichnet werden, wobei ein Plateau nach durchschnittlich fünf Operationen erreicht wurde.

Entgegen einer Zeitersparnis beim Knüpfen der Knoten in der RANF-Gruppe (RANF 85 ± 44 Sekunden vs. CLNF 121 ± 53 Sekunden, $p=0,001$), zeigte sich bei der RANF das Kürzen der Fäden als zeitintensiver (RANF 29 ± 10 Sekunden vs. CLNF 15 ± 7 Sekunden, $p=0,001$).

Allerdings erwies sich die Qualität des Knoten-Knüpfens - anhand des angewandten speziellen Punktesystems - in der CLNF-Gruppe als hochwertiger (CLNF 111 ± 9 vs. RANF 117 ± 5 , $p=0,02$).

Hinsichtlich des Anstieges des CYP präoperativ zu postoperativ ergab sich beim Vergleich der Effizienz beider Methoden kein Unterschied. Die durchschnittliche Druckzunahme betrug in der CLNF-Gruppe 44 ± 12 cmH₂O, in der RANF-Gruppe 46 ± 19 cmH₂O, $p=0,67$.

Induzierte Pneumothoraces ($p=0,044$) sowie Blutungen ($p=0,040$) wurden in der CLNF-Gruppe öfter beobachtet, wohingegen Nähte in der RANF-Gruppe beim Knüpfen der Knoten deutlich häufiger rissen ($p=0,001$).

Diskussion

Der Chirurgische Workflow ermöglicht eine objektive und standardisierte Evaluation des Operationsablaufs und dem Chirurgen dadurch eine bewusste, analytische Reflektion und somit ein Feedback auf seine technischen Fähigkeiten und verbesserungsfähigen Prozesse. Besonders für die minimal-invasive ARC, die sich schon längst als Standardbehandlung in der klinischen Praxis etabliert hat, können Workflow-Analysen eine kontinuierliche Kontrolle der operativen Qualität bieten, indem auch routinierte Handlungsabläufe immer neu evaluiert und gegebenenfalls modifiziert werden können.

Die im Verlauf der Studie beobachtete signifikante Zeitersparnis in der präoperativen Vorbereitung und der Dissektion könnte durch das initiale Defizit der anatomischen Kenntnisse an infantilen Schweinen erklärt werden. Nach Erlangen einiger artspezifischer anatomischer Kenntnisse, wie der extremen Weite des ösophagealen Hiatus und dessen Nähe zur Vena Cava, war es problemlos möglich, die beiden Phasen konsequent schneller und komplikationsloser durchzuführen.

Interessanterweise konnte das Bilden eines intrakorporalen Knotens, das unabhängig von der Anatomie der Tiere ist, mit zunehmendem Training nicht beschleunigt werden. Dies interpretierten wir als das Erreichen eines Plateaus bezüglich der beschriebenen Fertigkeit bei einem Chirurgen mit moderater Erfahrung in dieser Operationstechnik und speziell im Knüpfen intrakorporaler Knoten.

Die Messung des CYP erlaubte es uns, eine qualitative Aussage über die Fundoplikatio zu treffen. Da die GERD von vielen Faktoren, wie der intraabdominalen Länge des Ösophagus, dem Druck des unteren Ösophagussphinkters (LES) und dem Maß des His'schen Winkels beeinflusst wird, war es unser weiteres Ziel, eine Evaluationsmethode in unserem experimentellen Tiermodell anzuwenden, die all die verschiedenen Effekt-Variablen in einem Parameter integriert. Durch prä- und postoperative Messung des CYP gelang es uns die Kompetenz des gastroösophagealen Übergangs quantitativ aufzuzeichnen und somit noch intraoperativ die Qualität sowie die Effizienz der Fundoplikatio zu evaluieren.

Verglichen damit repräsentiert die Druckmessung des LES nur einen der beteiligten Parameter in der Pathogenese der GERD und Langzeit-pH-Metriken – Goldstandard in der Diagnostik der GERD – sind sehr kostenintensiv und werden nur selten in experimentellen Studien angewandt.

Vorteile in der Messung des CYP mittels laparoskopisch angelegter Gastrostomie stellen die physiologischen Druckverhältnisse im Bauchraum sowie die intakte Abdominalwand dar. Dafür muss während der Messung die CO₂-Insufflation unterbrochen werden. Ein Nachteil ist das erforderliche Abklemmen des Duodenums sowie ein erneut notwendiger invasiver Eingriff zur Re-Evaluation des CYP, weshalb diese Technik tierexperimentellen Studien vorbehalten bleibt. In unserer Studie hat sich die Messung des prä- und postoperativen CYP bewährt, um eine ad hoc Evaluation der verschiedenen Antireflux-Techniken durchzuführen. Hierbei zeigte sich bei der CLNF vs. der RANF kein signifikanter Unterschied im Anstieg des postoperativen CYP und demnach der Qualität der Nissen Fundoplikatio.

Komplementär dazu war kein signifikanter Unterschied zwischen den Techniken der CLNF und der RANF in Bezug auf die jeweiligen Operationszeiten zu beobachten, die Fundoplikatio ist bezüglich beider Methoden also vergleichbar antirefluxiv.

Obwohl die Nahtzeit insgesamt in der RANF-Gruppe signifikant kürzer war, wurde zum Kürzen der Fäden mehr Zeit benötigt. Dies erklären wir uns dadurch, dass in der RANF-Gruppe der Assistent diesen Schritt durchführte. Auch zeigte sich die CLNF in der Qualität des Knoten-Knüpfens als hochwertiger (Composit score: CLNF 117 ± 5 vs. RANF 111 ± 9).

Der Da Vinci Telemanipulator ® erwies sich durch die dreidimensionale Visualisierung und die verbesserten Freiheitsgrade der Instrumente in der Dissektionsphase als vorteilhaft, da deutlich seltener Blutungen und Pneumothoraces auftraten. Obwohl die Inzidenz der Komplikationen sicher auch durch die im Verlauf der Studie erlangten Kenntnisse der Anatomie der Versuchstiere positiv beeinflusst wurde, scheint die roboter-assoziierte Chirurgie eine sichere und schonende Operationstechnik zu sein.

Zum Zeitpunkt unserer Studie stellten die fehlende Haptik sowie die in kleinen Größen noch nicht verfügbaren Trokare (12 mm für die Kamera und 8 mm für die Instrumente) den evidentesten Nachteil der RANF dar. Durch erstere kam es häufig zum Zerreißen der Fäden – eine in der CLNF-Gruppe nicht eingetretene Komplikation.

Auch Systemfehler, die eine Unterbrechung des Workflows zur Folge hatten, und Ausfälle in der dreidimensionalen Visualisierung beeinflussten die Ergebnisse in der RANF-Gruppe negativ. Hätten wir diese allerdings im Workflow belassen, wären die Operationszeiten der RANF-Gruppe nicht signifikant länger als die der CLNF-Gruppe gewesen.

Zusammenfassend ermöglicht unser workflow-analytisches Modell die quantitative Evaluation dynamischer Aktionen bezogen auf die minimal-invasive ARC.

Diese Daten können prinzipielle Orientierungswerte zur Analyse operativer Handlungen liefern. Aufgrund einer noch ausstehenden Automatisierung des Aufnahmemodus erweist sich die manuelle Eingabe der Aktionen in den Workflow-Editor als relativ zeitintensiv. Eine automatische computer-assistierte Aufnahmeoption würde den Prozess der Workflow-Analysen signifikant erleichtern und könnte Gegenstand zukünftiger Studien werden.

Die Messung des CYP beurteilen wir vergleichend der ph-Metrie und Manometrie als einfache und präzise Qualitätsanalyse in der ARC.

Lösungsvorschlag

- Im Vergleich zum Goldstandard der CLNF ist bei der RANF das Knüpfen der Knoten signifikant schneller. Daher bietet sich die RANF vor allem bei Patienten an, bei denen zusätzlich zur eigentlichen Fundoplikatio auch der Hiatus rekonstruiert werden muss (z.B. bei einer Hiatushernie), wobei zahlreiche zusätzliche Knoten notwendig sind
- Da die RANF außerdem bei gleicher antirefluxiver Effizienz mit weniger Peumothoraces und Blutungen assoziiert ist, könnte sie vor allem bei Patienten mit anderen Grunderkrankungen vorteilhaft sein
- Eine prospektive klinische Analyse mittels der hier beschriebenen, speziell auf die Nissen Fundoplikatio angepassten, Workflow-Analyse wäre demnach der nächste logische Schritt.

Schlussfolgerung

Die Technik der RANF konnte, trotz des beschleunigten Knoten-Knüpfens und der geringeren Anzahl an Komplikationen, in unserem experimentellen Tiermodell hinsichtlich der Effizienz der jeweiligen Operationstechnik nicht durch signifikante Vorteile überzeugen.

Möglicherweise bedarf es komplexeren Operationstechniken, um das gesamte Leistungsspektrum der roboter-assistierten Chirurgie zu Tage zu bringen.

IV. Anhang: Die Gastroösophageale Refluxkrankheit im Kindesalter - Ein Überblick

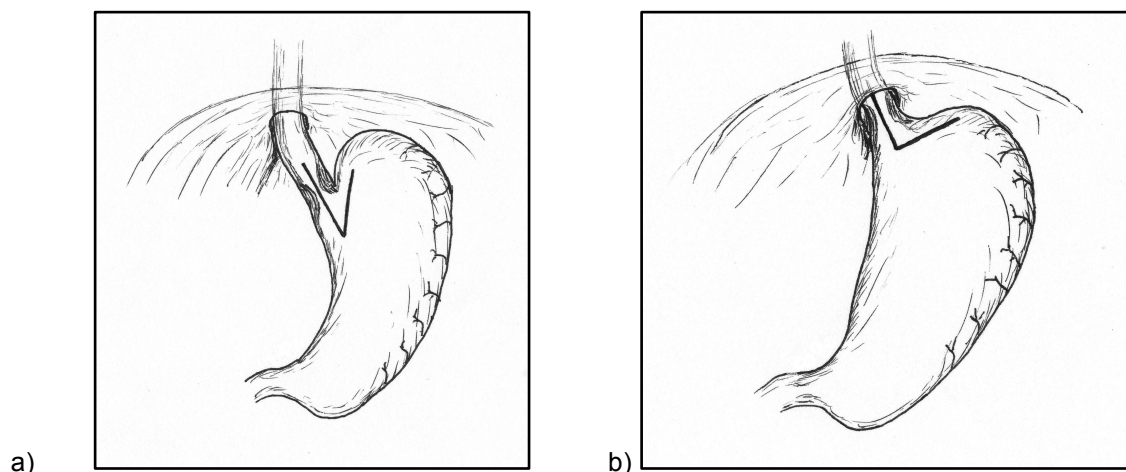
Definition

Der gastroösophageale Reflux wird als unwillkürlicher Rückfluss von Mageninhalt in den Ösophagus definiert. Solange der Reflux weder mit Komplikationen noch mit körperlichen Anomalien assoziiert ist, wird er als physiologisch betrachtet (gastroesophageal reflux, GER).

Führt der Reflux allerdings zu typischen Symptomen und Komplikationen (gastroesophageal reflux disease, GERD) oder besteht über das Alter von achtzehn Monaten hinaus, gilt er als pathologisch.

Ätiologie

Traditionell wird die GERD in eine primäre Funktionsstörung des oberen Gastrointestinaltraktes einerseits sowie eine sekundäre Dysmotilität auf der Grundlage systemischer Erkrankungen andererseits eingeteilt. Der häufigere sekundäre Reflux steht vorwiegend in Verbindung mit komplexen neurologischen Krankheitsbildern, kann aber darüber hinaus durch ein breites Ursachenspektrum hervorgerufen werden. Dazu zählen neben genetischen Syndromen und Chromosomenaberrationen, auch anatomische Funktionsstörungen sowie angeborene Fehlbildungen im Sinne einer Hiatus Hernie, einer Ösophagusatresie oder eines Bauchwandschadens [Henry 2004]. Gerade bei Frühgeborenen, aber auch termingerechten Neugeborenen passiert Mageninhalt in Form von Flüssigkeit oder Gas gehäuft retrograd den Ösophagus. Dafür sind überwiegend altersspezifische anatomische und physiologische Eigenschaften verantwortlich. Zum einen besteht bei Kleinkindern eine temporäre Inkompetenz des LES, zum anderen verstärkt ein erhöhter intraabdominaler Druck - ausgelöst durch Schreien oder Anspannung - das Refluxrisiko. Weitere vorübergehende Ursachen für gehäufte Refluxepisoden in dieser Altersgruppe scheinen ein fünf- bis achtfach vergrößertes Volumen aufgenommener Nahrung pro Kilogramm Körpergewicht im Verhältnis zu Erwachsenen [Curren 2000], ein mit 4% des adulten vermindertes Fassungsvermögen des Ösophagus sowie der noch extrem kurze intraabdominale Anteil des Ösophagus mit konsekutiver Funktionsminderung des LES darzustellen [Jones 2001].



Wie in Abb. 5a zu sehen ist, weist der normale gastroösophageale Übergang einen langstreckigen intraabdominalen Ösophagus und einen spitzen His-Winkel auf. Kinder mit GERD können einen abgeflachten His-Winkel, einen kürzeren abdominalen Ösophagus und einen verminderten Tonus des LES aufweisen, Abb. 5b.

Aber auch erhöhter Hirndruck, morbid Adipositas, Nahrungsmittelallergien, passive Nikotinexposition sowie Medikamente, Nasensonden, eine angeborene Ösophagusatresie und zuletzt operative Eingriffe, z.B. bei der angeborenen Zwerchfellhernie oder der Ösophagusatresie, können eine wesentliche Rolle in der Refluxpathogenese spielen. Im Jugend- und Erwachsenenalter bedingen beispielsweise eine fettreiche, scharf gewürzte und übermäßige Nahrungsaufnahme, Alkohol, Minze, Schokolade sowie Rotwein vermehrten Reflux [Rodriguez 1998].

Pathogenese

Die von Dodds et al. erstmals beschriebene TLESR in Verbindung mit einer gestörten propulsiven Peristaltik der Speiseröhre wird in allen Altersklassen als ursächlicher Mechanismus in der Entwicklung der GERD angesehen [Henry 2004]. Der LES, dessen Kompetenz durch drei Komponenten, dem Hiatus Ösophagus, dem His'schen Winkel und der Hochdruckzone des distalen Ösophagus aufrechterhalten wird [Gatenby 2009], misst bei Erwachsenen drei bis sechs Zentimeter und weist einen durchschnittlichen Druck von 20 mmHg auf [Vandenplas 2002]. Durch Kontraktion bildet er eine funktionelle Barriere am gastroösophagealen Übergang, gewährleistet durch Relaxation aber auch den physiologischen Übertritt von Nahrung in den Magen und das retrograde Entweichen von Luft. Ist dieser Mechanismus gestört, sinkt der Druck des LES unabhängig vom Schluckakt für mehr als zehn Sekunden auf Werte von 0 bis 2 mmHg ab [Cavataio 2005]. Es wird angenommen, dass vagosympathische Reflexe durch Stimulation von Mechanorezeptoren bei der Magen-dehnung die TLESR auslösen [Holloway 1985].

Des Weiteren scheinen eine unzureichende Anpassung des LES an den intraabdominalen Druck und eine verzögerte Magenentleerung den Reflux zu induzieren [Kawahara 1997].

Da die ausbleibende Ausreifung des LES innerhalb des ersten Lebensjahres zu einer Manifestation der GERD im Erwachsenenalter führen kann, wird, trotz mangelnder Langzeitstudien, der Beginn der GERD des Erwachsenenalters, vergleichbar mit anderen Erkrankungen chronischer Genese, in jüngster Zeit vermehrt im Kindesalter vermutet [Nelson 1997]. So konnte im Jahr 2001 in 3,5% der Fälle GER als Entlassungsdiagnose hospitalisierter Kinder im Alter von sechs Monaten bis achtzehn Jahren in den USA nachgewiesen werden [Gibbons 2001]. Ferner berichten, einer retrospektiven Studie zufolge, 63% von 225 erwachsenen Patienten mit GERD über rezidivierende Refluxepisodes in der Kindheit [Waring 2002]. Auch wurde belegt, dass die Häufigkeit und Dauer des Refluxes direkt proportional zu dessen Langzeitkomplikationen ist und somit der Beginn der GERD im Kindesalter schwerwiegendere Manifestationsformen der GERD im Erwachsenenalter zu induzieren vermag [Gold 2004].

Symptomatik und Komplikationen

Obleich physiologische Refluxepisodes, sowohl bei Kindern also auch bei Erwachsenen, mehrmals täglich auftreten, sind diese im Kindesalter quantitativ länger [Rudolph 2001]. So belegen Studien, dass der Refluxindex, der definiert ist als prozentualer Zeitanteil, währenddessen der ösophageale pH-Wert < 4 ist und als aussagekräftigster Parameter zum Nachweis eines Refluxes gilt, durchschnittlich 11,7% im Alter von null bis elf Monaten, 5,4% im Alter von null bis neun Jahren und nur noch 2% im Erwachsenenalter beträgt [Gold 2004].

Dafür verantwortlich scheint die anatomische und funktionelle Entwicklung der Kinder zu sein, die die Ausreifung des Ösophagus und des LES bedingt, was zumeist zum Nachlassen der TLESR und dem damit einhergehenden Nahrungsrückfluss führt. Der Reflux bleibt bei Säuglingen meist asymptomatisch oder äußert sich unspezifisch in Hochwürgen, rezidivierendem Erbrechen oder Ausspucken der aufgenommenen Nahrung. Bleibt der dieser allerdings über das erste Lebensjahr hinaus bestehen und wird symptomatisch, kann sich die GERD altersabhängig enorm facettenreich präsentieren [Chung 1998] [Strople 2003] [Hassal 2005]. So wird im Säuglingsalter häufig eine Nahrungsverweigerung mit inadäquater Gewichtszunahme und vermutlich schmerzbedingt dauerhaftem Schreien, vermehrter Reizbarkeit und Dysphagie sowie unregelmäßigem Schlafverhalten beobachtet. Besonders alarmierend ist das gehäufte Auftreten akuter lebensbedrohender Ereignisse (acute life-threatening events - ALTE) bei Kleinkindern mit GERD. Bleibt der spontane Rückgang des Refluxes bis zu einem Alter von zwei Jahren, wie er bei bis zu 65% der Kinder beobachtet wird, aus, findet meist ein deutlicher Symptomwandel statt [Lobe 2007].

So dominiert im Vorschulalter intermittierendes Erbrechen, wohingegen ältere Kinder ein ähnliches Beschwerdespektrum wie Erwachsene aufweisen, wozu vorrangig das klassisch beschriebene Sodbrennen zählt. Es ist anzunehmen, dass einige Kinder Schwierigkeiten haben das Empfinden von Sodbrennen klar zu definieren und daher in mehreren Studien Bauchschmerzen als das häufigste angeführte Symptom im Kindesalter beschrieben werden [Hassal 2005]. So publizierten Ashorn et al. zum Beispiel, dass 76 an GERD erkrankter Kinder in 64% Bauchschmerzen, in 34% Sodbrennen, in 29% respiratorische Beschwerden, in 22% Regurgitation, in 18% retrosternale Schmerzen und nur noch in 16% Erbrechen beklagen [Ashorn 2002]. Auch Gupta et al. deklarierten in einer Studie mit 90 an Reflux leidenden Kindern im Alter von ein bis siebzehn Jahren Bauchschmerzen mit 69%, allerdings gleich auf mit Regurgitation und Erbrechen, als die am häufigsten erwähnten Beschwerden [Gupta 2001]. Extraösophageale Manifestationen oder atypische Symptome wie chronische respiratorische, pharyngeale sowie dentale Beschwerden und rezidivierende Erkrankungen des HNO-Bereiches können die Diagnosefindung erheblich erschweren [Hassal 2005].

Obwohl die physiologischen Refluxepisoden im Sinne einer Schutzfunktion den Magen entlasten, von potentiellen Noxen befreien und der ösophagealen Schleimhaut kurzfristig nicht schaden, kann sich bei persistierender TLESR, insbesondere in Verbindung mit einer eingeschränkten ösophagealen "Säure-Clearance" und beeinträchtigter Mucosabarriere, eine erosive Ösophagitis entwickeln [Vandenplas 2002]. Dies ist umso wahrscheinlicher, je länger der Ösophagus dem sauren Magenrefluxat ($\text{pH} < 4$) und dessen Bestandteilen, wie Gallensäuren und Pepsin, exponiert ist. Das klinische Bild der Ösophagitis erstreckt sich von Dysphagie über Hämatemesis bis hin zu Anämie und Gedeihstörungen. Bleibt die Ösophagitis unerkannt und chronifiziert, können daraus erhebliche Langzeitkomplikationen wie das Sandifer Syndrom (dystonischer Opisthothonus mit episodischer Überstreckung von Hals und Rücken), peptische Strikturen, ein Barrett-Ösophagus (Metaplasie der Ösophagus-schleimhaut) und schlimmsten Falles eine maligne Entartung in Form eines Adenokarzinomes resultieren [Henry 2004].

Diagnostik

Wie bereits erwähnt, scheint die Entwicklung eines Barrett-Ösophagus eng mit der Bestehensdauer der GERD assoziiert zu sein. So wurde in 27% von 2741 Erwachsenen mit Refluxsymptomen, die sich einer elektiven Endoskopie unterzogen, die Diagnose eines Barrett-Ösophagus gesichert und die Wahrscheinlichkeit für dessen Entwicklung erwies sich nach ein – bis fünfjährigem Bestehen der Beschwerden dreifach, nach zehn Jahren bereits sechsfach erhöht [Gold 2004].

Daher ist die Notwendigkeit einer frühzeitigen und zweckmäßigen Diagnostik sowie einer adäquaten, maximal effizienten Therapie der gesicherten GERD im Kindesalter notwendig, um einer Chronifizierung der Erkrankung und ihren weitreichenden Folgen vorzubeugen.

Unter Umständen kann die Diagnosestellung allerdings erschwert sein, da v.a. im Säuglingsalter unspezifische Symptome wie rezidivierendes Erbrechen das Krankheitsbild dominieren. Deshalb sollten vorerst andere in Frage kommende Ursachen der präsentierten Beschwerden gezielt differentialdiagnostisch ausgeschlossen werden. Gemäß der Leitlinien der NASPGHAN erlauben es eine gründliche Erhebung der Krankengeschichte in Bezug auf Erbrechen, Gedeihstörung, Apnoeanfälle, pulmonale Beschwerden, epigastrische Schmerzen, retrosternales Brennen und schlechten Geschmack im Mund sowie eine sorgfältige körperliche Untersuchung in den meisten Fällen eine zuverlässige Diagnose zu stellen [Rudolph 2001]. Neben einer ausführlichen Eigen- und Fremdanamnese ist es ratsam, eine Medikamenten- und Familienanamnese sowie die körperliche Entwicklung anhand Wachstums- und Gewichtsperzentilen zu eruieren. Auch sollten die Eltern darüber informiert werden, dass GER zumeist physiologisch ist, solange das Kind gedeiht, und im Zuge der körperlichen Entwicklung höchstwahrscheinlich nachlassen wird. Führen eingeleitete Interventionen zu keiner Verbesserung der Symptome, ist die Diagnose GERD noch unklar oder entwickeln sich bereits ernstere Komplikationen, sind weiterführende diagnostische Schritte indiziert.

Ein empirischer, zeitlich begrenzter Behandlungsversuch mit PPIs zählt bei Erwachsenen bereits zur Standarddiagnostik der GERD. Obwohl dieser Test gegebenenfalls invasivere und kostenintensivere Untersuchungen ersetzen könnte, fehlt dafür bei Kindern bisher die nötige Validität [Gold 2004]. Um anatomische Anomalien im oberen Gastrointestinalbereich zu detektieren, steht ein Barium-Brei-Schluck unter Röntgendurchleuchtung zur Verfügung. Dabei können die anatomischen Verhältnisse dargestellt und pathologische Faktoren wie eine Hiatushernie ausgeschlossen werden. Während dieser Test allerdings wenig sensitiv und spezifisch zum Nachweis einer GERD ist, zählt die 24-Stunden-pH-Metrie des Ösophagus zum Goldstandard der Diagnostik. Besonders in Verbindung mit einem Symptومتagebuch können Refluxepisoden mit Hilfe des Refluxindex sowohl qualitativ als auch quantitativ objektiviert werden [Suwandhi 2006]. Um auch nicht-sauren Reflux, eine Aspiration oder die Magenentleerung zu quantifizieren, können mit Technetium radioaktiv markierte Flüssigkeiten oral aufgenommen und szintigraphisch gemessen werden. Allerdings ist der Stellenwert der Szintigrafie in der Diagnose der kindlichen GERD noch unklar [Rudolph 2001].

Sollen Schäden der ösophagealen Schleimhaut nachgewiesen und Ursachen einer etwaigen Entzündung derer geklärt werden, können Gewebeproben unter Gastroskopie des oberen Intestinaltraktes entnommen und histologisch untersucht werden. Besteht der Verdacht auf eine Motilitätsstörung der Speiseröhre, können mittels Manometrie intraösophageale Drücke und die ösophageale Motilität qualitativ und quantitativ bestimmt werden. Eine seltener angewandte und für das Kindesalter noch unzureichend validierte Methode den retrograd in den Ösophagus fließenden Mageninhalt nachzuweisen stellt die intraluminale ösophageale elektrische Impedanzmessung dar [Suwandhi 2006]. Zuletzt besteht die Möglichkeit mittels bronchoalveolärer Lavage neutrophile Granulozyten und lipid-beladene Makrophagen zu detektieren und damit eine Aspiration von refluxiertem Material zu beweisen [Mattioli 2004].

Therapieoptionen: Entwicklung der Fundoplikatio

Bis in die Mitte des 20. Jahrhunderts wurde das Vorliegen einer Hiatushernie als Hauptgrund für den GER angenommen und das chirurgische Vorgehen vorwiegend auf deren Beseitigung und den Verschluss der Zwerchfellschenkel ausgerichtet. Diese Verfahren blieben zumeist erfolglos und wurden erst modifiziert, als Allison um das Jahr 1950 erstmals den Begriff der Reflux-Ösophagitis prägte und eine Assoziation zwischen der GERD und einer insuffizienten Kardia vermutete [Rossetti 1966]. Daraufhin wurden erste Techniken entwickelt, die zur Wiederherstellung des anatomisch intakten gastroösophagealen Überganges mittels verschiedener Gastropexieverfahren führen sollten. Allerdings kam es aufgrund einer Dislokation der Gastropexie häufig zum Rezidiv der Symptomatik, so dass für zufriedenstellende Langzeitergebnisse weitere Modifikationen nötig waren [Nissen 1981]. 1936 führte Rudolph Nissen beim Übernähen eines exzidierten distalen Ösophagusulkus erstmals eine Fundoplikatio durch [Nissen 1956], woraufhin sich diverse Varianten dieser Operationstechnik entwickelten, deren Unterschiede im Wesentlichen in der Art des Zugangsweges, der Ausdehnung der Fundus-Manschette und der Magenfixation bestanden. So wählte Belsey z.B. die Thorakotomie (Belsey Mark IV), Nissen, Hill und Toupet dagegen die Laparotomie als Zugangsweg [Chekan 1999].

Allerdings beklagten einige Patienten nach Anlage einer Nissen Fundoplikatio Dysphagie und Meteorismus (post-fundoplication syndrome), was meist auf eine zu lange oder enge Fundusmanschette zurückzuführen war und weiterer Modifikationen verlangte. So überarbeitete Rossetti die Nissen Fundoplikatio, indem er auf die Durchtrennung der Arteriae gastricae breves verzichtete [Wehrli 2005], und Donahue et al. verkürzten die Manschettenbreite von vier auf nur noch ein bis zwei Zentimeter.

Diese Modifikation wurde weltweit unter dem Begriff „short-floppy-Nissen“ bekannt und von vielen Chirurgen aufgegriffen [Donahue 1985]. Der Effekt zeigte sich in einem Rückgang der postoperativen Dysphagieraten von 25% auf 3% [DeMeester 1992]. Aber auch die Entwicklung von Teilmanschetten, wie die posteriore (Toupet 270°) oder anteriore (Thal 210°-270°, Dor 180° oder Watson 120°) Hemifundoplikatio sollte zu einer Reduzierung der Dysphagierate, besonders bei präoperativ gemessener Dysmotilität des Ösophagus, beitragen [Wehrli 2005]. Allerdings haben Patti et al. in einer Langzeitstudie mit 357 eingeschlossenen erwachsenen Patienten gezeigt, dass die totale laparoskopische der partiellen Fundoplikatio in der Behandlung der GERD, trotz vorhandener ösophagealer Dysmotilität, überlegen und das Auftreten einer postoperativen Dysphagie bei beiden Operationstechniken in zahlreichen Studien vergleichbar hoch ist [Patti 2004].

Trotz der großen Anzahl divergenter operativer Methoden konnten Esposito et al. in einer retrospektiven Studie über die Langzeitergebnisse dreier verschiedener laparoskopischer Antireflux-Techniken (Fundoplikatio nach Thal, Toupet und Nissen) bei neurologisch gesunden Kinder mit GERD keine signifikanten Unterschiede in der Inzidenz postoperativer Dysphagien oder anderer Komplikationen feststellen. Alle drei Verfahren werden als extrem effizient zur Behandlung der kindlichen GERD bewertet und die Wahl der jeweiligen Technik scheint lediglich von der Erfahrung des durchführenden Operateurs abhängig zu sein [Esposito 2006]. So verzeichnete Rothenberg in einer Serie von LNFs an 1048 Kindern keine operationsspezifische Mortalität, weniger als 1% intraoperative Komplikationen, 4% postoperative Komplikationen und nur in 3,1% eine Rekurrenz der präoperativen Beschwerden [Rothenberg 2004].

Die von Angelchick entwickelte Silikonprothese, die in Anlehnung an das Prinzip der Fundoplikatio zirkulär um den gastroösophagealen Übergang angebracht wird, hat aufgrund häufiger Prothesendislokation und postoperativer Dysphagieraten heute kaum mehr Bedeutung [Angelchick 1979].

Neuere Techniken, wie die transorale endoluminale Gastroplastik, die endoskopische Injektion eines Biopolymers in den LES sowie die lokal am LES angewandte Radiofrequenztherapie nach Stretta haben derzeit noch keinen hohen Stellenwert in der standardisierten Refluxtherapie im Kindesalter erlangt [Wehrli 2005]. Bei Erwachsenen aber scheint es möglich, dass diese Verfahren als Überbrückung zwischen nicht-invasiver und operativer Therapie der GERD ihren Platz finden [Roberts 2006].

V. Literaturverzeichnis

Albassam AA, Mallick MS, Gado A, Shoukry M. Nissen Fundoplication, robotic-assisted versus laparoscopic procedure: a comparative study in children. *Eur J Pediatr Surg* 2009;19:316-319

Angelchick JP, Cohen R. A new surgical procedure for the treatment of gastroesophageal reflux and hiatal hernia. *Surg Gynecol Obstet* 1979;148:246-248

Ashorn M, Ruuska T, Karikoski R, Laipala P. The natural course of gastroesophageal reflux disease in children. *Scand J Gastroenterol* 2002;37:638-41

Brown P. Medical management of gastroesophageal reflux. *Current Opinion in Pediatrics* 2000;12:247-250

Cavataio F, Guandalini S. Gastroesophageal Reflux. In: Guandalini S, ed. *Essential Pediatric Gastroenterology and Nutrition*. New York, NY: Mc Graw-Hill;2005:157-173

Chang L, Satava RM, Pellegrini CA, Sinanan MN. Identifying the learning curve through objective measurement of skill. *Surg Endosc* 2003;17:1744-174

Chekan EG, Pappas TN. The laparoscopic management of gastroesophageal reflux disease. *Adv Surg* 1999;32:305-30

Chung DH, Georgeson KE. Fundoplication and Gastrostomy. *Sem Ped Surg* 1998;7:213-219

Curren J, Barness L. Nutrition: nutritional requirements. In: Behman RE, Kliegman RM, Jenson HB, editors. *Nelson textbooks of pediatrics* 2000;16:138-49

Dallemagne B, Weerst JM, Jehaes C, Markiewicz S, Lombard R. Laparoscopic Nissen Fundoplication: preliminary report. *Surg Laparosc Endosc* 1991;1:138-143

DeMeester TR, Wernly JA, Bryant GH, Little AG, Skinner DB. Clinical and in vitro analysis of gastroesophageal competence. A study of the principles of antireflux surgery. *Am J Surg*. 1979 Jan;137(1):39-46.

- DeMeester TR, Stein HJ. Minimizing the side effects of antireflux surgery. *World J Surg* 1992;16:335-336
- Dodds W, Dent J, Hogan W, Helm J, Hauser R, Patel G, Egide M. Mechanism of gastroesophageal reflux in patients with reflux esophagitis. *N Engl J Med* 1982;307:1547-1552
- Donahue PE, Samelson S, Nyhus LM, Bombeck CT. The floppy nissen fundoplication. Effective long-term control of pathologic reflux. *Arch Surg* 1985;120:663-668
- Esposito C, Montupet P, Van Der Zee D, Settimi A, Paye-Jaouen A, Centonze A, Bax NKM. Long-term outcome of laparoscopic Nissen, Toupet and Thal antireflux procedures for neurologically normal children with gastroesophageal reflux disease. *Surg Endosc* 2006;20:855-858
- Forget P, Arends JW. Cow's milk protein allergy and gastroesophageal reflux. *Eur J Pediatr* 1985;144:298-300
- Fonkalsrud EW, Ament ME. Gastroesophageal reflux in childhood. *Curr Probl Surg* 1996;33:1-70
- Gatenby P, Bann S. Antireflux Surgery. *Minerva Chir* 2009; 64:2:169-181.
- Gibbons T, Stockwell J, Kreh R. The status of gastroesophageal reflux disease in hospitalized U.S. children: 1995–2000 [abstract]. *J Pediatr Gastroenterol Nutr.* 2001;33:197.
- Gold B. Review article: epidemiology and management of gastro-oesophageal reflux in children. *Aliment Pharmacol Ther* 2004; 1(Suppl 1):22-27
- Gupta SK, Hassal E, Book LS, Kane RE, Chiu Y-L, Johnson CA, Heyman MB. Presenting symptoms and signs of erosive (EE) and non-erosive esophagitis (NEE) in children. *Gastroenterology* 2001;120:A422
- Gutt CN, Markus B, Kim ZG, et al. Early experiences of robotic surgery in children. *Surg Endosc* 2002;16:1083-1086

Hassall E (2005) Decisions in diagnosing and managing chronic gastroesophageal reflux disease in children. J Pediatr 146:3–12

Heller K, Gutt CN, Schaeff B et al. Use of robotic system da Vinci for laparoscopic repair of gastroesophageal reflux in children. Eur J Pediatr Surg 2002;12:239-242

Henry S. Discerning differences: Gastroesophageal Reflux and Gastroesophageal reflux disease in infants. Adv Neonatal Care 2004;4:4:235-247

Holloway R. Gastric distension: a mechanism for postprandial gastroesophageal reflux. Gastroenterology 1985;89:778-784

Hornby PJ, Abrahams, TP. Central control of lower esophageal sphincter relaxation. AM J Med 2000;108(Suppl 4a):90-8

International Pediatric Endosurgery Group (IPEG). IPEG Guidelines for the surgical treatment of pediatric gastroesophageal reflux disease (GERD). J Laparoendosc Adv Surg Tech A 2009;19(Suppl 1):10-13

Ismail T, Bancewicz J, Barlow J. Yield pressure, anatomy of the cardia and gastroesophageal reflux. Br J Surg 1995;82:943-947

Ismail T, Bancewicz J, Barlow J. Yield pressure: A new concept in the evaluation of GERD. Am J Gastroenterol 1996; 91: 616-617

Jones A. Gastroesophageal reflux in infants and children- when to reassure and when to go further. Can Fam Physician 2001;47:2045-2053

Kane TD. Laparoscopic Nissen Fundoplication. Minerva Chir 2009 a;64:147-157

Kane TD, Brown MF, Chen MK. Position paper on laparoscopic antireflux operations in infants and children for gastroesophageal reflux disease. J Pediatr Surg 2009 b;44:1034-1040

Kawahara H, Dent J, Davidson G. Mechanism responsible for gastroesophageal reflux in children. Gastroenterology 1997;113:399-408

Klinkenberg-Knol EC, Festen HPM, Janesen JBM. Long-term treatment with omeprazole for refractory esophagitis: efficacy and safety. *Ann Intern Med* 1994;121:161–167

Knight CG, Lorincz A, Gidell KM, Lelli J, Klein MD, Langenburg SE. Computer-assisted robot-enhanced laparoscopic fundoplication in children. *J Pediatr Surg* 2004;39:864-866

Liebermann-Meffert D, Stein H. Rudolf Nissen and the World revolution of fundoplication. Barth, Heidelberg Leipzig, 1998

Lobe TE, Schroop KP, Lunsford K. Laparoscopic Nissen Fundoplication in childhood. *J Pediatr Surg* 1993;28:358-361

Lobe TE. The current role of laparoscopic surgery for gastroesophageal reflux disease in infants and children. *Surg Endosc* 2007;21:167-174

Lundell LR. Etiology and risk factors for esophageal carcinoma. *Dig Dis* 2010;28(4-5):641-4.

Mattioli G, Sacco O, Gentilino V, Martino F, Pini Prato A, et al. Outcome of laparoscopic Nissen-Rossetti fundoplication in children with gastroesophageal reflux disease and supraesophageal symptoms. *Surg Endosc* 2004;18:463-465

Mc Gouran RC, Galloway JM, Wells FC, Hendrie OR. Is yield pressure at the cardia increased by effective fundoplication? *Gut* 1989;30:1309-1312

Meehan JJ, Sandler A. Pediatric robotic surgery: A single-institutional review of the first 100 consecutive cases. *Surg Endosc* 2008;22:177-182

Meehan JJ. Robotic surgery in small children: Is there room for it? *J Laparoendosc Adv Surg Tech A* 2009;19:5:707-712

Meininger DD, Byhahn C, Heller K, Gutt CN, Westphal K. Totally endoscopic Nissen fundoplication with a robotic system in a child. *Surg Endosc* 2001;15:1360

Miller S. Comparison of the efficacy and safety of a new aluminium-free paediatric alginate preparation and placebo in infants with recurrent gastroesophageal reflux. *Curr Med Res Opin* 1999;15:3:160-168

Nelson SP, Chen EH, Syniar GM, Christoffel KK. Prevalence of symptoms of gastroesophageal reflux during infancy: a pediatric practice-based survey: Pediatric Practice Research Group. Arch Pediatr Adolesc Med 1997;151:569-72

Nissen R. Eine einfache Operation zur Beeinflussung der Refluxoesophagitis. Schweiz Med Wochenschr 1956;86:590

Nissen R, Rosetti M, Siewert R. Fundoplikatio und Gastropexie bei Refluxkrankheit und Hiatushernie. Thieme-Verlag Stuttgart, 2. Auflage 1981;1-4,19-31,33-47,52-69

North American Society of Pediatric Gastroenterology, Hepatology and Nutrition. Paediatric gastro-esophageal reflux clinical practice guideline. J Pediatr Gastroenterol Nutr 2001;32(Suppl 2):1-31

Orel R, Markovic S. Bile in the esophagus: a factor in the pathogenesis of reflux esophagitis in children. J Pediatr Gastroenterol Nutr 2003;36:266-73

Orenstein SR. Gastroesophageal Reflux. Diatr Rev 1999;20:24-28

Oyen N, Markestad T, Skaerven R et al. Combined effects of sleeping position and prenatal risk factors in sudden infants death syndrome: the Nordic Epidemiological SIDS Study. Pediatrics 1997;100:613-621

Patti MG, Robinson T, Galvani C, Gorodner MV, Fisichella PM, Way LW. Total fundoplication is superior to partial fundoplication even when oesophageal peristalsis is weak. J Am Coll Surg 2004;198(6):863-9; discussion 869-70.

Roberts KE, Duffy AJ, Bell RL. Controversies in the treatment of gastroesophageal reflux and achalasia. World J Gastroenterol 2006;12(20):3155-3161

Rodriguez S, Miner P, Robinson M, Greenwood B, Maton P, Pappa K. Meal type affects heartburn severity. Dig Dis Sci 1998;43:485-90

Rossetti M. Die Refluxkrankheit des Ösophagus. Hippokrates-Verlag Stuttgart 1966;12-16,25-51

Rothenberg SS. First decades experience with laparoscopic fundoplication in infants and children. J Pediatr Surg 2004;40:142-147

Rudolph CD, Mazur LJ, Liptak GS et al. Guidelines for evaluation and treatment of gastroesophageal reflux in infants and children: recommendations of the North American Society for Pediatric Gastroenterology and Nutrition. J Pediatr Gastroenterol Nutr 2001;32:S1-31

Saedon M, Gourgiotis S, Germanos S. Is there a changing trend in surgical management of gastroesophageal reflux disease in children? World J Gastroenterol 2007;13(33):4417-4422

Shaheen NJ, Hansen RA, Morgan DR, Ganagrosa LM, Ringel Y, Russo MW, Sandler RS. The burden of gastrointestinal and liver diseases, 2006. Am J Gastroenterol 2006;101:2128-38.

Sinha CK, Haddad M. Robot-assisted surgery in children: current status. J Robotic Surg 2008;1:243-246

Stefanidis D, Korndorffer JR, Scott DJ. Robotic laparoscopic fundoplication. Curr Treat Options Gastroenterol 2005;8:71-83

Strople J, Kaul A. Pediatric gastroesophageal reflux disease-current perspectives. Curr Opin Otolaryngol Head Neck Surg 2003;11:447-451

Suwandhi E, Ton M, Schwarz S. Gastroesophageal Reflux in Infancy and Childhood. Pediatric Annals 2006;35:4

Tighe MP, Afzal NA, Bevan A, Beattie RM. Current pharmacological management of gastroesophageal reflux in children. An evidence-based systematic review. Pediatr drugs 2009;11:3:185-202

Vandenplas Y, Hassall E. Mechanisms of Gastroesophageal Reflux and Gastroesophageal Reflux Disease. J Pediatr Gastroenterol Nutr 2002;35:2:119-136

Waring J, Feiler M, Hunter J, Smith C, Gold B. Childhood gastroesophageal reflux symptoms in adult patients. J Pediatr Gastroenterol Nutr 2002;35(3):334-338

Wehrli H. Laparoscopic fundoplication for gastroesophageal reflux disease (GERD). Ther Umsch. 2005;62(2):96-9

Zhi X., Kavic SM, Park AE. Management of Gastroesophageal Rfelux Disease: Medications, Surgery or Endoscopic Therapy? (Current status and trends). J Long Term Eff Med Implants 2005;15:4:375-388

VI. Eigenständigkeitserklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne unzulässige Hilfe oder Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe. Ich versichere, das Dritte von mir weder unmittelbar noch mittelbar geldwerte Leistungen für Arbeiten erhalten haben, die im Zusammenhang mit dem Inhalt der vorgelegten Dissertation stehen, und dass die vorgelegte Arbeit weder im Inland noch im Ausland in gleicher oder ähnlicher Form einer anderen Prüfungsbehörde zum Zweck einer Promotion oder eines anderen Prüfungsverfahrens vorgelegt wurde. Alles aus anderen Quellen und anderen Personen übernommene Material, das in der Arbeit verwendet wurde, oder auf das direkt Bezug genommen wird, wurde als solches kenntlich gemacht. Insbesondere wurden alle Personen genannt, die direkt an der Entstehung der vorliegenden Arbeit beteiligt waren.

Regensburg, den 18. Juni 2013

.....

Alexandra Krauß

VII. Darstellung des wissenschaftlichen Werdeganges mit CV

Persönliche Daten

Name: Krauß

Vorname: Alexandra Maria Anna

Geburtsdatum-/ Ort: 09.07.1982 in München

Familienstand: ledig

Konfession: r.k.

Staatsangehörigkeit: deutsch

Schulbildung

1989-1993 Theresia-Gerhardinger-Grundschule am Anger, München

1993-2002 Theresia-Gerhardinger-Gymnasium am Anger, München

28.06.2002 Erhalt des Abiturzeugnisses, Abitur Note: 2,2

Studium

Herbst 2003 Beginn Studium der Humanmedizin an der Universität Leipzig

Sommer 2005 1. Staatsexamen an der Universität Leipzig, Ergebnis: gut

Herbst 2009 2. Staatsexamen an der Universität Leipzig, Ergebnis: gut

Dissertation

Klinik und Poliklinik für Kinderchirurgie Leipzig, Universität Leipzig

Thema: „Vergleich der konventionell Laparoskopischen vs. Roboter-Assistierten Nissen Fundoplikatio am experimentellen Tiermodell“ unter der Leitung von Herrn PD. Dr. med. habil. Oliver Münsterer und Herrn Prof. Dr. sc. hum. Werner Korb.

Praktische Erfahrungen

- Praktisches Jahr

2009 Abteilung für Innere Medizin, Universitätsspital Zürich,
Lehrkrankenhaus Universität Zürich Schweiz

2009 Abteilung für Innere Medizin, Kantonsspital Nidwalden,
Lehrkrankenhaus Universität Zürich, Schweiz

2009 Abteilung für Allgemeinchirurgie, Victoria Hospital, Lehrkrankenhaus
Universität Kapstadt, Südafrika

2008 Abteilung für Kinderkardiologie, Herzzentrum Leipzig,
Lehrkrankenhaus Universität Leipzig, Leipzig

2008 Abteilung für Allgemeinpädiatrie, Zentrum für Kinder- und
Jugendmedizin, Lehrkrankenhaus Universität Leipzig, Leipzig

- Famulaturen

2007 Praxis für Pädiatrie, Dr. med. Skadi Springer, Leipzig

2007 Praxis für Gynäkologie und Geburtshilfe, Dr. med. Annegret Saller,
München

2007 Abteilung für Anästhesie, St. George Hospital, Grenada

2006 Abteilung für Kardiologie, Herzzentrum Leipzig, Universität Leipzig

2006 Abteilung für Pädiatrie, Kinder- und Kinderpoliklinik im Dr. von
Haunerschen Kinderspital, Klinikum Innenstadt der LMU München

- Pflegepraktika

2004 Pflege- und Klinikpraktikum, Chirurgische Klinik Dr. Rinecker, München

2003 Pflegepraktikum, Sana-Klinik München, Solln

1999 Sozialpraktikum, Sana-Klinik München, Solln

Sonstiges

2005-2006 Studentische Aushilfe der Intensivstation der Abteilung für Herzchirurgie am
Herzzentrum Leipzig, Universität Leipzig

2002-2006 Pflegediensthelferin der Chirurgischen Klinik Dr. Rinecker, München

2002-2003 Ausbildung zur Rettungssanitäterin, Aicher–Ambulanz–Union, München

1998-2003 Ehrenamtliche Jugendarbeit, Hl. Geist Kirche Pullach, München

Beruflicher Werdegang

Seit 2010 Assistenzärztin in der Klinik für Kinderchirurgie, Klinik St. Hedwig,
Barmherzige Brüder, Regensburg

Fähigkeiten

Sprachen: Englisch - Fließend in Wort und Schrift
2008 Erwerb des Sprachzeugnis des Bvmd (Bundesvertretung
der Medizinstudierenden in Deutschland)
Italienisch - Grundkenntnisse
Französisch - Grundkenntnisse

EDV: Betriebssysteme: Mac und Windows (Microsoft Office)

Publikationsverzeichnis

1. Wachowiak R, Krauss A, Donaubauer B, Muensterer OJ. Cardia Yield Pressure Measurement in an Infant Porcine Model. A Novel Technique to Evaluate the Quality of Laparoscopic Fundoplication. J Laparoendosc Adv Surg Tech A. 2008 Dec;18(6):887-90
2. Krauss A, Muensterer OJ, Neumuth Th, Wachowiak R, Donaubauer B, Korb W, Burgert O. Workflow Analysis of Laparoscopic Nissen Fundoplication in Infant Pigs - A model for Surgical Feedback and Training. J Laparoendosc Adv Surg Tech A. 2009 Apr;19 Suppl 1:S117-22.
3. Krauss A, Neumuth Th, Wachowiak R, Donaubauer B, Korb W, Burgert O, Muensterer OJ. Laparoscopic versus robot - assisted Nissen fundoplication in an infant pig model. Pediatr Surg Int. 2011 Dec 27. [Epub ahead of print] PMID: 22200733
4. Neumuth T, Krauss A, Meixensberger J, Muensterer O. Impact quantification of the da Vinci telemanipulator system on surgical workflow using resource impact profiles. Int J Med Robot. 2011 Jun;7(2):156-64. doi: 10.1002/rcs.383. Epub 2011 Mar 1.

Buchbeitrag

1. Krauss A, Muensterer OJ, Burgert O, Wachowiak R, Donaubauer B, Korb W, Neumuth Th. Workflow-Analyse der Laparoskopischen Nissen Fundoplikatio an infantilen Schweinen - ein Model für operatives Feedback und Training. In Bartz D, Bohn S, Hoffmann J: CURAC. 08 TB, ISBN 978-3-00-025798-8, 1. Aufl., 2008, S. 251-254

Abstract

1. Krauss A, Neumuth Th, Wachowiak R, Donaubauer B, Korb W, Burgert O, Muensterer OJ. Computer-aided Workflow Comparison of Laparoscopic versus Robot-assisted Nissen Fundoplication in Infant Pigs. Oral presentation at IPEG 2009 (Phoenix, AZ), J Laparoendosc Adv Surg Tech A 2009;19:280
2. Krauss A, Muensterer OJ, Burgert O, Wachowiak R, Donaubauer B, Korb W, Neumuth Th. Workflow-Analyse der Laparoskopischen Nissen Fundoplikatio an infantilen Schweinen - Ein Model für operatives Feedback und Training. In Bartz D, Bohn S, Hoffmann J: CURAC. 08 TB, ISBN 978-3-00-025798-8, 1. Aufl., 2008, S. 251-254

3. Krauss A, Muensterer OJ, Neumuth Th, Wachowiak R, Donaubauer B, Korb W, Burgert O. Workflow Analysis of Laparoscopic Nissen Fundoplication in Infant Pigs - a Model for Surgical Feedback and Training. Oral presentation at IPEG 2008 (Cannes), Abstract. J Laparoendosc Adv Surg Tech A 2008;3:498
4. Wachowiak R, Krauss A, Donaubauer B, Muensterer OJ. Cardia Yield Pressure Measurement in an Infant Porcine Model: A Novel Technique to Evaluate the Quality of Laparoscopic Fundoplication. Oral presentation at IPEG 2008 (Cannes), Abstract. J Laparoendosc Adv Surg Tech A 2008;3:493
5. Donaubauer B, Krauss A, Wachowiak R, Muensterer OJ. Surgical and Anesthesiologic Pitfalls during Experimental Laparoscopic Fundoplication in Young Pigs. Abstract. J Laparoendosc Adv Surg Tech A 2008;3:512

Posterpräsentation

Juni 2008 IPEG (International Pediatric Endosurgery Group), 17th Annual Congress for Endosurgery in Children, Cannes, Titel: „Surgical and Anesthesiologic Pitfalls during Experimental Laparoscopic Fundoplication in Young Pigs“

Vortrag

März 2009 IPEG (International Pediatric Endosurgery Group), 18th Annual Congress for Endosurgery in Children, Phoenix, Titel: „Computer-aided Workflow Comparison of Laparoscopic versus Robot - Assisted Nissen Fundoplication in Infant Pigs“

September 2008 CURAC, 7. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Computer- und Roboterassistierte Chirurgie, Titel: „Workflow-Analyse der Laparoskopischen Nissen Fundoplikatio an infantilen Schweinen - Ein Modell für operatives Feedback und Training“

Juni 2008 IPEG (International Pediatric Endosurgery Group), 17th Annual Congress for Endosurgery in Children, Cannes, Titel: “Workflow Analysis of Laparoscopic Nissen Fundoplication in Infant Pigs - a Model for Surgical Feedback and Training”

Referenzen

Prof. Dr. med. Rolf A. Stahel, Facharzt FMH für Innere Medizin sowie Onkologie und Hämatologie, Leitender Arzt Klinik und Poliklinik für Onkologie, Universitätsspital Zürich, Schweiz

Dr. med. Christoph Knoblauch, Co-Chefarzt, Innere Medizin, Kantonsspital Nidwalden, Lehrkrankenhaus Zürich, Schweiz

Dr. med. Daniel Wegmann, Chefarzt, Innere Medizin, Kantonsspital Nidwalden, Lehrkrankenhaus Zürich, Schweiz

PD Dr. med. habil. Oliver Münsterer, Assistant Professor for Pediatric Surgery, Division of Pediatric Surgery, Weill Cornell Medical College, New York, US

Dr. med. Thomas Riede, Oberarzt, Kinderkardiologie, Herzzentrum Leipzig, Universität Leipzig, Deutschland

Regensburg, den 18. Juni 2013

.....
Alexandra Krauß

VIII. Danksagung

Bedanken möchte ich mich vorab bei Herrn Prof. Dr. med. H. Till für die Vergabe des Dissertationsthemas.

Des Weiteren gilt mein besonderer Dank Herrn PD Dr. med. habil. OJ. Münsterer für die zeitintensive Betreuung und sein unerschöpfliches Engagement. Trotz mancher Hürde schaffte er es durch seinen Arbeitsenthusiasmus und Optimismus das gesamte Team zu motivierten. Durch seinen Einsatz konnte diese Arbeit nicht nur publiziert werden, sondern er ermöglichte mir einen Teil der Thematik auf der IPEG in Cannes vorzustellen, was ein unvergessliches Erlebnis für mich war.

Mein weiterer Dank gilt Herrn Prof. Dr. sc. hum. W. Korb, Dr. med. R. Wachowiak und Dr. med. B. Donaubauer für Ihre Hilfe und die hervorragende Zusammenarbeit. Durch Ihre innovativen Ideen haben alle maßgeblich an der Entstehung dieser Arbeit beigetragen.

Ganz besonders möchte ich dem gesamten Team des Innovative Center Computer Assisted Surgery (ICCAS) Leipzig danken, angefangen bei den allzeit hilfsbereiten Mitarbeitern des Studentenpools, Herrn Dr. Th. Neumuth (Leiter der Abteilung für Workflow und Wissensmanagement) bis hin zu Herrn Dr.-Ing. Oliver Burgert (Leiter der Abteilung für wissenschaftliche Verfahren).

Auch der Leiterin Dr. med. vet. Petra Madaj-Sterba, den Tierärzten und den Tierpflegern des Medizinisch-Experimentellen Zentrums der medizinischen Fakultät der Universität Leipzig (MEZ) gilt mein größter Dank für die engagierte Mitarbeit.

Ein ganz außerordentlicher und herzlicher Dank gilt all meinen Freunden, meiner Familie und natürlich besonders meinen Eltern für die jahrelange Unterstützung während meiner gesamten Studiums - und Promotionszeit.



Abb. 6: Das Team: v. l. n. r.

Greta Kurtz, Dr. med. Bernd Donaubauer, Alexandra Krauß,
PD Dr. med. habil. Oliver Münsterer, Dr. med. Robin Wachowiak